

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 40 17 603 C 1

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**B 05 D 1/02**  
B 05 D 1/04  
B 05 D 1/06  
B 05 B 7/00

⑲ Aktenzeichen: P 40 17 603.7-45  
⑳ Anmeldetag: 31. 5. 90  
㉑ Offenlegungstag: —  
㉒ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 18. 7. 91

DE 40 17 603 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:

Wagner International AG, Altstätten, CH

⑦④ Vertreter:

Münzhuber, R., Dipl.-Phys., 8000 München;  
Boehmert, A., Dipl.-Ing.; Hoormann, W., Dipl.-Ing.  
Dr.-Ing., 2800 Bremen; Goddar, H., Dipl.-Phys.  
Dr.rer.nat.; Liesegang, R., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Eitner,  
E., Dipl.-Ing., 8000 München; Winkler, A., Dr.rer.nat.,  
Pat.-Anwälte; Stahlberg, W.; Kuntze, W.; Kouker, L.,  
Dr., Rechtsanwälte, 2800 Bremen

⑦② Erfinder:

Talacko, Radovan, Dipl.-Ing., St. Gallen, CH

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

NICHTS ERMITTELT

⑤④ Verfahren zum Fluidisieren, Fördern und/oder Zerstäuben von festen und flüssigen Beschichtungsmaterialien

⑤⑦ Beim Fluidisieren, Fördern und/oder Zerstäuben von pulverförmigem oder flüssigem Beschichtungsmaterial bei der Oberflächenbeschichtung, insbesondere bei der elektrostatischen Oberflächenbeschichtung, wird ein unter hohem Druck stehendes Inertgas auf Betriebsdruck entspannt, wobei es sich abkühlt, und das eine Temperatur unter Umgebungstemperatur aufweisende Gas als Druckgas für das Fluidisieren, Fördern und/oder Zerstäuben verwendet.

DE 40 17 603 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Fluidisieren, Fördern und/oder Zerstäuben von pulverförmigen und flüssigen Beschichtungsmaterialien, insbesondere für die elektrostatische Oberflächenbeschichtung, mittels Druckgas.

Bei der Oberflächenbeschichtung wird zum Fluidisieren, zum Fördern und zum Zerstäuben von Beschichtungspulver sowie zum Zerstäuben von Beschichtungsflüssigkeiten, wie Farben und Lacken, Druckluft verwendet, die entweder direkt aus einem Kompressor oder aus einem Druckluftnetz zur Verfügung gestellt wird. Erforderlichenfalls sind Druckminderventile vorgesehen, um die vom Netz bzw. dem Kompressor mit im allgemeinen 8 bis 12 bar gelieferte Druckluft auf den jeweils gewünschten Betriebsdruck zu entspannen.

Druckluft steht nahezu überall zur Verfügung und stellt ein sehr kostengünstiges Druckmedium dar. Eingehende Untersuchungen haben jedoch ergeben, daß die Druckluft auf dem hier interessierenden Gebiet der Oberflächenbeschichtung auch nachteilige Wirkungen hat. So führt Druckluft Wasser- und Ölrückstände mit, die zu unbefriedigenden Arbeitsergebnissen beim Auftrag des Beschichtungsmaterials auf das Werkstück führt, es sei denn, man setzt Wasserabscheider und Entöler ein, was zu einer beträchtlichen Erhöhung der Betriebskosten führt. Weiterhin ist von Bedeutung, daß die Druckluft Temperaturen aufweist, die entweder der Umgebungstemperatur entsprechen oder, bedingt durch den Verdichtungs Vorgang, darüber liegen. Nun ist aber die Ionisationsfähigkeit der Luft proportional ihrer Temperatur, mit der Folge, daß beim elektrostatischen Beschichten die zum Zerstäuben des Beschichtungsmaterials verwendete und vergleichsweise warme Druckluft sich stark auflädt, bei gegebener Aufladeenergie die gewünschte Aufladung der Pulverpartikel oder Flüssigkeitströpfchen somit beeinträchtigt wird. Eine Kühlung der Zerstäuberluft mittels Kuhlaggregate ist zwar möglich, jedoch kostspielig und führt darüber hinaus beim Einbau der Aggregate in Handsprüh pistolen zu Isolations- und Gewichtsproblemen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es deshalb, das Verfahren der eingangs erwähnten Art so zu verbessern, daß es nicht zur Beeinträchtigung des Beschichtungsmaterials durch Wasser- und/oder Öltröpfchen kommt und beim elektrostatischen Beschichten ein hoher Aufladungswirkungsgrad des Beschichtungsmaterials gewährleistet ist. Die Kosten des Verfahrens aber trotzdem in wirtschaftlich vertretbaren Grenzen bleiben. Die Lösung dieser Aufgabe besteht darin, daß ein unter hohem Druck stehendes Inertgas auf den erforderlichen Betriebsdruck entspannt wird, wobei es sich auf eine Temperatur unter Umgebungstemperatur abkühlt, und daß dieses kühle Inertgas dann als das Druckgas verwendet wird.

Besonders geeignet ist dabei reiner Stickstoff. So ist Stickstoff beispielsweise in verflüssigter Form in Druckflaschen oder -tanks erhältlich, und zwar vergleichsweise kostengünstig und nahezu frei von Wasser- und Ölrückständen. Wird dieser verflüssigte Stickstoff vergast, dann ist es, etwa über mehrere Reduzierstufen, ohne Schwierigkeiten möglich, den gewünschten Betriebsdruck von beispielsweise 2 bis 6 bar, und zugleich die gewünschte Betriebstemperatur von beispielsweise 5 bis 10°C zu erreichen, ohne daß es dazu einer von außen zugeführten Energie bedarf. Wird dieses vergleichsweise kühle Gas verwendet, dann werden, wie Versuche

erwiesen haben, höhere spezifische Pulvermengen injiziert und transportiert als bei Verwendung der vergleichsweise warmen Druckluft. Darüber hinaus hat man experimentell finden können, daß beim elektrostatischen Sprühen während des Ladevorgangs im Bereich des elektrostatischen Feldes das kühlere Stickstoffgas weniger Ladung aufnimmt als die wärmere Druckluft, womit mehr Ladeenergie direkt auf die Pulver- oder Flüssigkeitspartikel übertragen wird; der Aufladungs- und Niederschlagswirkungsgrad ist jedenfalls wesentlich verbessert. Ausserdem wird durch die Verwendung von Inertgas die Zerstäuberwolke im wesentlichen frei von Luft und damit von Sauerstoff gehalten, so daß in der Zerstäuberwolke selbst kein zündfähiges Gas vorhanden ist; auch die Bildung einer zündfähigen Gasatmosphäre im Arbeitsraum bzw. der Sprühkabine wird reduziert.

Die Temperaturveränderung des auf einen Wert von beispielsweise 5 bis 10°C gebrachten Stickstoffs durch seinen Transport durch die Versorgungsleitungen hindurch ist so minimal, und zwar aufgrund der vergleichsweise hohen Strömungsgeschwindigkeiten, daß sie kaum eine Rolle spielen, auch nicht bei langen Versorgungsleitungen.

Wird das reine Inertgas als Zerstäuberluft bei luftgelagerten Rotationszerstäubern verwendet, dann bietet es sich an, dieses Inertgas auch zum Antrieb des Rotationszerstäubers heranzuziehen, weil damit Lagerungsprobleme durch dem Antriebsgas beigefügte Wasser- und Öltröpfchen ausgeschaltet werden.

An Stelle des flüssigen Stickstoffs kann auch hochvergasstes Stickstoffgas für den Betrieb bereitgestellt werden, wobei die gewünschte Temperatur durch den Expansionsvorgang bei der Druckreduzierung erzielt wird. Weiterhin ist es möglich, an Stelle von reinem Stickstoff reines Kohlendioxid zu verwenden, das bezüglich Aggregatzustandsänderung sowie Druck-Temperatur-Charakteristik mit dem Stickstoff vergleichbar, ebenfalls kostengünstig und in der Lage ist, eine Schutzgasatmosphäre zu bilden. Die angegebenen Betriebsdrücke von 2 bis 6 bar und Betriebstemperaturen von 5 bis 10°C sollen selbstverständlich nur Leitbereiche darstellen.

Wenn auch die Kosten für das Inertgas, etwa Stickstoff, etwas höher liegen als diejenigen für Druckluft, so kann trotzdem die Wirtschaftlichkeit verbessert sein, und zwar durch Wegfall von Wasserabscheidern und Entölern sowie den höheren Niederschlagswirkungsgrad bei der Beschichtung. Außerdem kann eine vorsorgliche Löschanlage im Spritzbereich entfallen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Fluidisieren, Fördern und/oder Zerstäuben von festen und flüssigen Beschichtungsmaterialien bei der Oberflächenbeschichtung, insbesondere der elektrostatischen Oberflächenbeschichtung, mittels eines Druckgases, dadurch gekennzeichnet, daß ein unter hohem Druck stehendes, reines Inertgas auf den gewünschten Betriebsdruck entspannt wird, wobei sich das Inertgas auf eine Temperatur unter Umgebungstemperatur abkühlt, und daß dieses kühle Inertgas als das Druckgas verwendet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Inertgas einer Temperatur von 5 bis 10°C als Druckgas verwendet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch ge-

kennzeichnet, daß als Inertgas ein unter Hochdruck verflüssigbares Gas verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Inertgas reiner Stickstoff verwendet wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 44 43 811 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>8</sup>:  
**B 05 B 7/20**  
B 05 B 7/18  
C 23 C 14/12

②1 Aktenzeichen: P 44 43 811.7  
②2 Anmeldetag: 9. 12. 94  
④3 Offenlegungstag: 13. 6. 96

DE 44 43 811 A 1

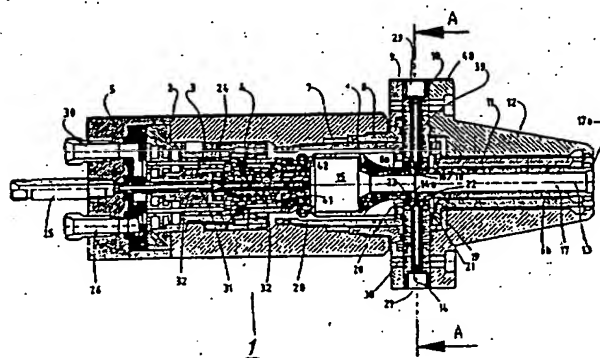
⑦1 Anmelder:  
Franz Künzli AG, Wangen, CH; UTP Schweißmaterial  
GmbH & Co KG, 79189 Bad Krozingen, DE

⑦4 Vertreter:  
Ratzel, G., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 68165  
Mannheim

⑦2 Erfinder:  
Künzli, Franz, Wangen, CH; Hühne, Erwin, 79227  
Schallstadt, DE

⑤4 Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner zum Verspritzen von draht-, stab- und/oder pulverförmigen Spritzzusatz-Werkstoffen

⑤7 Die Erfindung betrifft einen universell anwendbaren Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner zum Verspritzen von draht-, stab- und/oder pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen sowie ein Verfahren zum Betreiben dieses Brenners optional mit gasförmigen und/oder gleichzeitigen flüssigen Brennstoffen in Verbindung mit Oxidationsgas, Druckluft und/oder Sauerstoff, wobei Mittel vorgesehen sind, die wahlweise eine zentrische Zuführung der Spritzzusatzwerkstoffe vom Heckanschlußflansch des Brenners durch die wassergekühlte Brennkammer mit nachgeschalteter Expansionsdüse in das Zentrum des Hypersonicflammenstrahls oder radial quer oder geneigt zur Spritzachse aus mindestens zwei gegenüberliegenden Zuführungsbohrungen nach der Brennkammer in Spritzrichtung angeordnet in das Zentrum der wassergekühlten Expansionsdüse gewährleisten.



DE 44 43 811 A 1

Die Erfindung betrifft einen universell anwendbaren Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner zum Verspritzen von draht-, stab- und/oder pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen sowie ein Verfahren zum Betreiben dieses Brenners.

Aus dem Stand der Technik sind eine Vielzahl von Geräten und Systemen bekannt, die zur Herstellung von thermisch gespritzten Schichten auf Substratoberflächen geeignet sind. Je nach Anforderung an die Spritzschichten werden zur Herstellung von thermisch gespritzten Schichten die Spritzzusatzwerkstoffe in Bezug auf ihre chemische Zusammensetzung sowie spezifischen Eigenschaften des Spritzzusatzwerkstoffes in Draht-, Stab- oder Pulverform ausgewählt und mit einem geeigneten Spritzgerät oder Verfahren verarbeitet. Aufgrund der immer höheren Qualitätsanforderungen an thermisch gespritzte Schichten, auf verschiedenste Bauteiloberflächen in allen Bereichen der modernen Technik — speziell im Flugzeugtriebwerksbau und bei der Turbinenschaufelherstellung, etc. — wurden eine große Anzahl sogenannter Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsysteme entwickelt, die den Anforderungen der Spritz- und Beschichtungsindustrie entsprechen sollen.

Aufgrund der sehr komplexen Problemstellungen zur Herstellung der bestmöglichen Schichten bei den jeweiligen Anwendungsapplikationen und betriebsbedingt erforderlichen Spritzschichtspezifikationen können die gemäß dem Stand der Technik entsprechenden Hochgeschwindigkeits-Flammspritzsysteme nur bedingt die gestellten Anforderungen erfüllen.

Aus der DE-PS 8 11 899 ist bereits eine Vorrichtung zum Versprühen von metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen bekannt, welche aufgrund ihres Funktionsprinzips als Ursprung des Hochgeschwindigkeits-Flammspritzens bezeichnet werden kann.

Aus der DE-PS 8 11 899 ist zu entnehmen, daß Brenngas  $H_2$  (Wasserstoff) in eine Brennkammer eingebracht wird, das über einen verengten Kanal in eine sich in Spritzrichtung erweiternde Expansionsdüse strömt. Die Spritzzusatzwerkstoffe werden über eine Bohrung zentrisch in die Brennkammer geführt, dort geschmolzen, in Richtung Expansionsdüse beschleunigt und auf die Substratoberfläche aufgespritzt. Gemäß dieser Druckschrift werden nach dem gleichen Funktionsprinzip auch andere Spritzzusatzwerkstoffe, z. B. draht-, pulverförmig oder schmelzflüssig in die Brennkammer eingebracht, unter Verwendung von Wasserstoff geschmolzen und mit dem Wasserstoff-Flammenstrahl und dessen kinetischer Energie durch die Expansionsdüse beschleunigt und auf die Substratoberfläche gespritzt. Die hier offenbarte technische Lösung zur Herstellung von hochwertigen Spritzschichten auf den unterschiedlichsten Spritzwerkstoffen, z. B. Metalloxide, hochschmelzende metallische Werkstoffe — Mo-M-Cr-AlY's — etc., unter Verwendung des Brenngases Wasserstoff, ist ungeeignet, die gestellten Anforderungen an die Schichtqualität zu erfüllen. Die thermische und kinetische Energie der Wasserstoff-Flamme reicht nicht aus, um hochschmelzende Spritzwerkstoffe zu schmelzen und zu beschleunigen, um dichte, gut haftende Spritzschichten erzeugen zu können. Die zentrische oder seitliche Zuführung der Spritzzusatzwerkstoffe in die Brennkammer bzw. durch dieselbe führt speziell bei niedrig schmelzenden Werkstoffen zu Ablagerungen von Spritzpartikeln an der Brennkammerwandung und somit zu Funktions-

störungen des Brenners. Spritzzusatzwerkstoffe, die im schmelzplastischen Zustand stark zu Reaktionen mit Sauerstoff neigen, werden in vielen Fällen beim Durchgang durch die Brennkammer überschmolzen und reagieren beim Austreten aus der Expansionsdüse sehr stark mit Sauerstoff.

In den erzielten Spritzschichten finden Oxidanteile > 20% an den Spritzpartikelkorngrößen, die zur abgeminderten Interpartikelhaftung führen.

Aus der US-PS 2 714 563 ist ein Beschichtungsverfahren bekannt, das auf dem internationalen Beschichtungsmarkt und der Spritzindustrie unter dem Begriff "Detonations- oder Flammschockspritzen" bekannt ist. Das Kernstück dieses Beschichtungsverfahrens ist die Detonationskanone, kurz "D-Gun" genannt. Diese "D-Gun" besteht im wesentlichen aus einem rohrartigen Gebilde, das über einen Ventilblock mit Einlaßventilen, die mittels einer Nockenwelle geöffnet und geschlossen werden, mit Acetylen, Sauerstoff und Stickstoff beschickt wird. Zusätzlich befindet sich an der "D-Gun" eine Zuführvorrichtung für pulverförmige Spritzzusatzwerkstoffe und eine Zündvorrichtung. Gemäß diesem Stand der Technik läuft der Beschichtungsprozeß in etwa derart ab, daß nach dem Öffnen der Einlaßventile Acetylen, Sauerstoff und Stickstoff in speziell vorgewählten Mengen von hinten in das Kanonenrohr strömen. Die Einlaßventile werden dann folgerichtig geschlossen, wonach eine vorgewählte Spritzpulvermenge über eine Dosiereinrichtung in die Kanone eingespeist und wieder geschlossen wird.

Nach dieser Operation wird das Gemisch aus Acetylen, Sauerstoff, Stickstoff und Spritzpulver mittels einer Zündvorrichtung gezündet. Es findet hierbei eine explosionsartige Verbrennung des Acetylen-Sauerstoffgemisches statt und das Spritzpulver wird dabei in einen schmelzplastischen Zustand versetzt, mit der kinetischen Energie der Explosionswelle auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt und auf die Substratoberfläche geschossen, auf der sich eine dichte, gut haftende Schicht bildet. Es werden beim "D-Gun"-Beschichtungsprozeß Partikelgeschwindigkeiten von ca. 800 m/sec. und Temperaturen der Detonationsflamme von ca. 4000°C erreicht.

Der voran beschriebene Prozeß wiederholt sich in einer Frequenz von 8 bis 12 Schuß pro Sekunde. Es handelt sich also um einen Intervall-Spritzprozeß, der nur stationär unter Verwendung von Acetylen, Sauerstoff und Stickstoff durchgeführt werden kann. In Sonderfällen wird auch Propangas verwendet. Der voran beschriebene Spritzprozeß eignet sich bestens zur Herstellung von gut haftenden, dichten Hartstoffschichten, wie z. B. WCCo 88/12, WCNi,  $Cr_3C_2NiCr$ , etc. Auch metallische Spritzschichten lassen sich mit gutem Ergebnis herstellen. Das Verarbeiten von oxid-keramischen Spritzzusatzwerkstoffen ist nur bedingt möglich; das gleiche gilt für die Erzeugung von sogenannten hochtemperaturbeständigen MCrAlY-Spritzschichten. Die Nachteile des Verfahrens bestehen desweiteren darin, daß es nur stationär angewendet werden kann und sehr kostenintensiv ist. Die "D-Gun" kann nicht mit flüssigen Brennstoffen betrieben werden. Das Verspritzen von tiefschmelzenden und mit  $O_2$  stark reagierenden Werkstoffen ist nicht möglich. Draht- oder stabförmige Spritzzusätze können nicht verspritzt werden.

Aus der europäischen Patentanmeldung 0 049 915 ist eine Hochgeschwindigkeits-Flammspritzpistole bekannt, die in der Spritz- und Beschichtungsindustrie sowie bei Lohnbeschichtungswerkstätten unter dem Na-

men "JETKODE" im Einsatz ist. Der HVOF-Brenner besteht im wesentlichen aus einer senkrecht angeordneten Brennkammer, in die Brenngas und Sauerstoff nach dem Druckgasprinzip eingespeist werden. Die draht- oder pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffe werden bei dieser Brennerkonstruktion von der Rückseite des Brenners in die waagrecht angeordnete Expansionsdüse in den aus vier Bohrungen um ca. 90° umgelenkten Hypersonic-Flammenstrahl entstehenden Fokuspunkt eingespeist, geschmolzen und mit der kinetischen Energie des Hypersonic-Flammenstrahls auf die Substratoberfläche geschleudert. Beim "JETKODE"-Spritzprozeß können max. Partikelgeschwindigkeiten zwischen 600 bis 700 m/sec. und Gasstrahltemperaturen von 2700 bis ca. 2800°C erreicht werden.

Aus der EP 0 049 915 ist zu entnehmen, daß der "JETKODE"-HVOF-Brenner nur mit den Betriebsgasen Propan, Propylen und Wasserstoff in Verbindung mit Sauerstoff betrieben werden kann. Der Einsatz von Acetylen oder flüssigen Brennstoffen ist aufgrund der Konstruktionskonzeption des Brenners nicht möglich. Dies bedeutet für den Anwender enorme Anwendungseinschränkungen, da hochschmelzende Spritzwerkstoffe, wie z.B. Mo und oxid-keramische Komponenten, nicht verarbeitet werden können. Aus der Anwendungspraxis sind eine Vielzahl von Nachteilen beim Einsatz des "JETKODE"-HVOF-Brenners bekannt, die die Anwendung für eine Vielzahl von Beschichtungsapplikationen in Frage stellen, z.B.:

- Hohe Energieverluste während des Betriebes in das Kühlwasser bis zu 40 kW/h aufgrund der speziellen Konstruktionskonzeption;
- keine Prozeßstabilität, da es während des Beschichtungsprozesses ständig zu Ablagerungen von Pulverpartikeln durch Festbacken an der Expansionsdüseninnenwandung kommt;
- hoher Verschleiß an der Expansionsdüse, da das Spritzpulver nicht absolut zentrisch in die Expansionsdüse eingespeist werden kann.

Aus der europäischen Patentanmeldung 0 361 710 ist ein HVOF-Brenner bekannt, der auf dem internationalen Markt für Flammsspritztechnik unter dem Namen "CDS" (continius Detonation-spraying) eingeführt wurde. Bei dem vorgenannten HVOF-Spritzbrenner handelt es sich um ein System, bei dem die Betriebsgase Propan, Propylen, Wasserstoff und Sauerstoff ungemischt in die wassergekühlte Expansionsdüse einströmen. Aufgrund des hier angewendeten Außenmischprinzips kann das hochenergetische Brenngas Acetylen in diesem Brennertyp nicht verwendet werden. Auch der Betrieb dieses HVOF-Brennertyps mit den kostengünstigen, hochenergetischen, flüssigen Brennstoffen ist nicht möglich. Da die einzelnen Betriebsgase vor dem Einspeisen in die wassergekühlte Brennkammer keinem radialen-axialen Druckausgleichsverfahren unterliegen, strömen diese in unterschiedlichen Mengen und Geschwindigkeiten aus den Gaskanälen in die wassergekühlte Expansionsdüse, was eine asymmetrische Verbrennung der Betriebsgase zur Folge hat. Der vom Heckanschluß zentrisch in die Expansionsdüse eingespeiste Spritzzusatzwerkstoff wird durch die asymmetrisch brennende HVOF-Flamme so abgelenkt, daß der Spritzstrahl während des Spritzprozesses die Innenwandung der Expansionsdüsenbohrung berühren kann, was zu Funktionsstörungen und vorzeitigem Verschleiß führt. Der CDS-Beschichtungsprozeß findet bei Spritz-

partikelgeschwindigkeiten < 800 m/sec. und max. Hypersonic-Flammenstrahltemperaturen von < 2900°C statt.

Aus der Anwendungspraxis ist desweiteren bekannt, daß dieser HVOF-Spritzbrenner in der Qualität nur mittelmäßige Schichten erzeugen kann. Bei reaktionsfreudigen Spritzzusatzwerkstoffen mit O<sub>2</sub> finden sich an den erzeugten Spritzschichten hohe Oxidanteile, was zu verminderten Interpartikelhaftzugfestigkeitswerten führt.

In der US-PS 4 964 568 wird ein HVOF-Spritzbrenner vorgeschlagen, der in den einschlägigen Fachkreisen unter dem Markennamen "Diamond Jet" bekannt ist. Der hier beschriebene HVOF-Brenner kann aufgrund seiner Konstruktionskonzeption mit den Brenngasen Propan, Propylen und Wasserstoff betrieben werden. Der Einsatz von Acetylen und flüssigen Brennstoffen zum Betrieb des Brenners ist nicht möglich. Der HVOF-Brenner wird mit einem von innen mit Druckluft oder Stickstoff gekühlten, zylindrisch-konischen Brennraum betrieben. Die Zuführung der Spritzzusatzwerkstoffe erfolgt von der Brennerrückseite zentrisch in den Druckgas-gekühlten Brennraum. Der Draht- oder Pulverzuführinsert ragt ca. 7 mm in den Brennraum. Um den Abbrand des Insert zu vermeiden, wird dieser mit einem während des Spritzprozesses schlauchförmig zwischen Insert und Innendüse austretenden Druckgas-schlauch kontinuierlich gekühlt.

Die Gesamtmenge der zur Innenkühlung der Brennraumwandung und des Pulverinsert benötigten, nicht brennbaren Druckgasmenge beträgt ca. 10000 l/h und kühlt gleichzeitig während des Spritzprozesses die HVOF-Flamme erheblich ab.

Aus dem vorgenannten Grund können mit dem HVOF-Brenner keine hochschmelzenden Spritzzusatzwerkstoffe verspritzt werden. Speziell beim Verspritzen von pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen müssen aufgrund des voran beschriebenen Umstandes sehr feine Korngrößenfraktionen verwendet werden, die von der Druckgas-gekühlten HVOF-Flamme noch geschmolzen werden können.

Ein weiterer Nachteil des beschriebenen "Diamond Jet"-Brenners liegt darin, daß dem Brennraum des Brenners keine Expansionsdüse nachgeschaltet ist, die die HVOF-Flamme mit dem Spritzwerkstoffstrahl bündelt. Bei dem Prozeß können aufgrund der voran geschilderten Umstände nur Hypersonic-Flammenstrahltemperaturen < 2500°C und Spritzpartikelgeschwindigkeiten < 700 m/sec. erreicht werden. Bei der vorliegenden Brennerkonzeption entsteht beim HVOF-Spritzprozeß ein Spritzstrahl mit einem relativ großen Durchmesser, was beim Beschichten von rotationssymmetrischen Teilen mit einem Durchmesser < 25 mm zu Spritzverlusten > 50% führt. Es ist in der Fachwelt bekannt, daß für dieses System in der Zwischenzeit durch Vorschalten einer wassergekühlten Hybrid-Düse vor dem zylindrisch-konischen Brennraum des Brenners die geschilderten Nachteile auszugleichen versucht werden, dies ist aber zum Teil zu Lasten eines erheblich größeren Brenngasverbrauchs (H<sub>2</sub>) gelungen, da die eingesetzten Kuhl Druckgase, Druckluft N<sub>2</sub> oder Ar von > 10000 l/h nach wie vor benötigt werden, um die Innenwandung des zylindrisch-konischen Brennraumes des HVOF-Brenners und den in den Brennraum hineinragenden Spritzzusatzwerkstoff-Insert zu kühlen. Mit einer extrem unter stöchiometrischen H<sub>2</sub>-Flamme (ca. 750 l/min H<sub>2</sub> + ca. 180 l/min. O<sub>2</sub> + ca. 360 l/min. N<sub>2</sub> als Kühlgas und ca. 150 l/min. N<sub>2</sub> als Pulvertransportgas) können mit dem modifizierten HVOF-Brenner mit vorgeschalteter,

wassergekühlter Hybrid-Spritzdüse sehr dichte und gut haftende, oxidarme NCrAlY-Schichten erzeugt werden.

Aus der US-PS 5 165 705 und der EP-PS 0 458 018 B1 sind weitere HVOF-Brennerkonstruktionen bekannt, die auf dem internationalen Beschichtungsmarkt und der Fachwelt auf dem Gebiet des HVOF-Spritzens unter dem Markennamen "HYPERSONIC-UNI-SPRAY-JET-TOP-GUN" bekannt sind. Beide HVOF-Brennertypen sind so ausgelegt, daß mit ihnen praktisch alle Brenngase — Acetylen, Wasserstoff, Propan, Mopp-Gas, Propylen, etc. — in Verbindung mit Sauerstoff verarbeitet werden können. Die Brenngas-Sauerstoff-Mischung erfolgt in einem speziellen Injektor-Gasmischblock, so daß die entsprechende Brenngas-Sauerstoff-Mischung bereits optimal vermischt aus einer Vielzahl von Injektormischdüsenbohrungen in die wassergekühlte Brennkammer mit nachgeschalteter Expansionsdüse einströmt. Aufgrund der voran beschriebenen Injektorvormischung des Betriebsgases entstehen unmittelbar im Einmündungsbereich des Brenngas-Sauerstoff-Gemisches in die Brennkammer Temperaturen bis zu 3165°C, je nach eingesetztem Brenngas und dessen Mischungsverhältnis mit Sauerstoff. Der "HYPERSONIC-Flammenstrahl" erreicht hierbei Geschwindigkeiten bis 1000 m/sec. und Spritzpartikelgeschwindigkeiten bis max. 780 m/sec.

Da die Spritzzusatzwerkstoffe vom Heck des Brenners absolut zentrisch in die Brennkammer bei Temperaturen bis 3165°C eingespeist werden, können auch Spritzzusatzwerkstoffe vorliegend in Pulverform mit hohen Schmelzpunkten, wie z. B. Mo und Ceramics verspritzt werden.

Beim Verspritzen von WCCo oder WCNi sowie Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>NiCr-Spritzwerkstoffen kommt es beim Brennkammerdurchgang bei den extrem hohen Temperaturen zu Phasenumwandlungen bei den Hartstoffen. In den WCCo-Schichten werden bis zu 25% umgewandelte W<sub>2</sub>C-Hartstoffe gefunden, die zwar im Verschleißverhalten gleiche Eigenschaften aufweisen wie WC aber eine wesentlich schlechtere chemische Beständigkeit als diese besitzen.

Beim Verspritzen von mit Sauerstoff reaktionsfreudigen Spritzzusatzwerkstoffen mit dem TOP-GUN-HVOF-Spritzbrenner kommt es beim Durchströmen der hohen Verbrennungstemperaturen in der Brennkammer und im Hypersonic-Flammenstrahl zum Überschmelzen bzw. Überhitzen der Spritzpartikel, die nach dem Ausströmen aus der Expansionsdüsenmündung, auf der Strecke bis zum Auftreten auf die Substratoberfläche, sehr stark mit den Luftgasen O<sub>2</sub> und N<sub>2</sub> reagieren. In den HVOF-Spritzschichten werden deshalb Oxidgehalte bis zu 25% festgestellt. Beim Verspritzen von Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>NiCr 80/20 oder ähnlichen Spritzwerkstoffen wurden ebenfalls sehr hohe Oxidanteile festgestellt, die die Innenpartikelhaftung erheblich abmindern.

Zusammenfassend kann also beim voran beschriebenen Stand der Technik festgestellt werden, daß gasbetriebene HVOF-Brenner eine Anzahl von Vor- und Nachteilen aufweisen. Ein gemeinsamer Nachteil der gasbetriebenen HVOF-Spritzbrenner, die den Stand der Technik darstellen, liegt u. a. darin, daß bei der Verbrennung jeweils für eine Beschichtungsapplikation Brenngas-Sauerstoff-Kombination in der Brennkammer oder in der Expansionsdüse des HVOF-Spritzbrenners ein Hypersonic-Flammenstrahl entsteht, mit sehr hoher thermischer Energie, die im Verhältnis zur kinetischen Energie des Flammenstrahls nicht sehr günstig ist.

Die erreichbaren Spritzpartikelgeschwindigkeiten

liegen bei < 800 m/sec. bei max. 3165°C Brennkammertemperatur bei stöchiometrischer Verbrennung von Acetylen und Sauerstoff. Aufgrund dieser Realität kommt es beim Verspritzen von WC-haltigen Spritzzusatzwerkstoffen, wie z. B. WCCo 88/12, WCCo 83/17, etc., zu Phasenumwandlungen der Hartstoffe.

WC wandelt sich durch die hohe Temperatureinwirkung auf die WC-Partikel teilweise in W<sub>2</sub>C um und es entsteht teilweise die unerwünschte Eta-Phase. Durch die vorgenannte Phasenumwandlung werden die guten, chemischen Beständigkeitseigenschaften von WC negativ verändert. Bei metallischen Spritzzusatzwerkstoffen, wie z. B. Inconell 625, 718, Stainless-Steel 316L und den sogenannten M-CrAlY-Werkstoffen (Ni-CrAlY's und CoCrAlY's) sowie beim Verspritzen von Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>NiCr 80/20, bewirkt die extrem hohe thermische Energie des Hypersonic-Gasstrahls ein Überhitzen bzw. Überschmelzen der Spritzzusätze bei zentrischer Zuführung durch die Brennkammer und Expansionsdüse. Die negative Folge daraus ist, daß die überhitzten und extrem flüssigen Spritzpartikel nach dem Austreten aus der Expansionsdüse auf der Strecke bis zum Auftreffen auf die Substratoberfläche sehr stark mit den Luftgasen Sauerstoff und Stickstoff reagieren. In den Spritzschichten werden daher unerwünschte Oxidanteile bis zu > 20% gemessen. Bei Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>NiCr 80/20 HVOF-Spritzschichten, die mit Gas betriebenen HVOF-Spritzbrennern mit zentrischer Zuführung der Spritzzusatzwerkstoffe durch die Brennkammer und Expansionsdüse hergestellt werden, finden sich an den Partikelkorngrenzen starke Oxidschichten, die die Interpartikelhaftung und somit die Haftzugfestigkeit erheblich vermindern. In der technischen Anwendungspraxis wurde versucht, diesen negativen Erscheinungen durch Zusetzen von Additivgasen, wie z. B. Stickstoff, in die Brenngas- oder Sauerstoffzuführung zum HVOF-Spritzbrenner durch Absenkung der Flammentemperaturen zu verbessern. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, daß durch die direkte Zumischung von N<sub>2</sub> in den Verbrennungssauerstoff oder in das Brenngas die Zünd- und Verbrennungsgeschwindigkeit des Gemisches so verändert wird, daß nur bei HVOF-Brennern mit einem Außenmischsystem geringe Verbesserungen erzielt werden können. Eine optimale Problemlösung steht beim derzeitigen Stand der Technik noch immer aus. Aufgrund der Problematik hat man versucht, die anstehenden Probleme durch den Einsatz von HVOF-Spritzbrennern zu lösen, die anstelle von gasförmigen Brennstoffen mit flüssigen Brennstoffen in Verbindung mit Sauerstoff betrieben werden. Anstelle der bisher bei gasbetriebenen HVOF-Spritzbrennern angewendeten Technik der zentrischen Zufuhr der Spritzzusatzwerkstoffe durch die Brennkammer und/oder der Expansionsdüse wird, wie aus der US-PS 4 343 605 bekannt ist, der Spritzzusatzwerkstoff nach der Brennkammer angeordnet, quer zur Spritzachse also radial in die Expansionsdüsenbohrung in den Hypersonic-Gasstrahl eingespeist und zwar aus zwei gegenüberliegenden Zuführkanälen.

Bei der Verbrennung von flüssigen Brennstoffen, z. B. Kerosene, in Verbindung mit Sauerstoff in der Brennkammer eines HVOF-Spritzbrenners mit nachgeschalteter Expansionsdüse können in Abhängigkeit von der Menge und dem Mischungsverhältnis die Brennstoff-O<sub>2</sub>-Mischung Brennkammerdrücke von > 10 bar und Gasstrahlgeschwindigkeiten > 10 Mach bei Hypersonic-Flammenstrahltemperaturen < 3000°C erzielt werden. Mit einem HVOF-Spritzbrenner der voran beschriebenen Art können Leistungen bis > 400 kW er-



zeugt werden, die bestens geeignet sind, Schichtqualitäten zu erzielen, die mit gasbetriebenen HVOF-Spritzbrennern nicht erreicht werden können. Aufgrund der sehr hohen Spritzpartikelgeschwindigkeiten von bis zu 2000 m/sec. bei relativ niedrigen Gasstrahltemperaturen < 3000°C sowie bei radialer Einspeisung von Spritzzusatzwerkstoffen nach der Brennkammer in die Expansionsdüse können beim Verspritzen von Hartstoff-Spritzzusatzwerkstoffen HVOF-Schichten auf Substratoberflächen erzeugt werden, die anstelle von unerwünschten Zugspannungen Druckspannungen aufweisen. Aufgrund der extrem hohen Spritzpartikelgeschwindigkeiten bis zu 2000 m/sec. bei Spritzleistungen bis zu 10 kg/h Spritzzusatzwerkstoff, werden dicke, dichte, optimal haftende Schichten erzielt, die in Bezug auf Qualität und Preis-Leistungsverhältnis bisher unübertroffen sind. Die Nachteile von HVOF-Brennern, die mit flüssigen Brennstoffen betrieben werden, liegen darin, daß sich hochschmelzende Werkstoffe, wie z. B. Mo und oxidkeramische Pulver, etc. nicht verarbeiten lassen. Auch hochtemperaturbeständige HVOF-Spritzschichten aus M-CrAlY's, wie diese bei Gasturbinenschaufeln von Flugzeugtriebwerken und für andere High-Tech-Applikationen benötigt werden, können mit dem voran beschriebenen HVOF-Brennern nicht hergestellt werden.

Diese Schichten können heute mit sehr guten Ergebnissen mit HVOF-Spritzbrennern erzeugt werden, die mit Wasserstoff in Verbindung mit O<sub>2</sub> betrieben werden.

Zusammenfassend kann zum Stand der Technik also ausgesagt werden, daß die bisherigen bekannten Brenner entweder nur gasförmige oder nur flüssige Brennstoffe, z. B. Kerosin, verwenden können. Ferner ist den, dem Stand der Technik zuzuordnenden Brennern zu eigen, daß der pulver-, draht- oder stabförmige Zusatzwerkstoff überwiegend von hinten zentral in das Gerät eingeführt wird. Auch ist besonders darauf hinzuweisen, daß zwar reine Kerosin-Brenner ebenfalls mit einer seitlichen Zuführung des pulver- oder des drahtförmigen Zusatzwerkstoffes arbeiten, jedoch bei Werkstoffen mit hohen Schmelzpunkten die Zuführung der Zusatzwerkstoffe von hinten durch den Zentralkanal geeigneter ist, um qualitativ hochwertige Beschichtungen zu erhalten. Ferner ist es bei den Brennern aus dem Stand der Technik bekannt, daß bei gasbetriebenen Brennern die kinetische Energie in einem negativen Verhältnis zur thermischen Energie steht. Bei zu hohen Temperaturen liegt naturgemäß viel Wärme in den Oberflächen vor. Dies führt zu Ribbildungen in der Schicht.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß bei Verwendung von flüssigen Brennstoffen der kinetische Energieanteil erhöht vorliegt.

Ferner liegt der vorliegenden Erfindung die Erkenntnis zugrunde, daß sowohl gasförmiger als auch flüssiger Brennstoff Vor- und Nachteile hat, die bei entsprechender Anwendung genutzt bzw. eliminiert werden können. Eine weitere Erkenntnis, die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegt, besteht darin, daß bei von hinten in den Brenner eingeführten Zusatzwerkstoffen eine starke Schmelzung auftritt.

Gegenüber dem vorliegenden Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabenstellung zugrunde, einen universellen Hochgeschwindigkeitsbrenner derart zu schaffen, der alle technischen und wirtschaftlich-positiven Gebrauchseigenschaften und Vorteile von bekannten gasbetriebenen HVOF-Spritzbrennern aufweist und darüber hinaus in der Lage ist, die Applikationen und

spezifischen Schichtqualitäten erzeugen zu können, die beim derzeitigen Stand der Technik nur von HVOF-Spritzbrennern erzeugt werden können, die mit flüssigen Brennstoffen, wie z. B. Methanol, Kerosene, Dieselmotortreibstoff, etc., in Verbindung mit einem Oxidationsgas, Sauerstoff oder Druckluft betrieben werden können.

Der gemäß der vorliegenden Erfindung universelle HVOF-Spritzbrenner soll zusätzlich dazu geeignet sein, stab-, draht- oder pulverförmige Spritzzusatzwerkstoffe wahlweise oder gleichzeitig mit Mischungen aus flüssigen und gasförmigen Brennstoffen in Verbindung mit den für die Verbrennung notwendigen Oxidationsgasen verspritzen zu können.

Der Gegenstand der vorliegenden Erfindung soll so ausgelegt sein, daß er dazu geeignet ist, mit ihm praktisch alle stab-, draht- oder pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffe inclusive solcher, die als Füll- oder Hülldrähte verspritzt werden können, einzusetzen, wie z. B.

- reine Metalle;
- metallgebundene Hartstoffe, wie z. B. Wolframcarbit, Chromcarbit, Titancarbit, etc.
- Metallcarbit-Mischungen;
- keramische Spritzzusatzwerkstoffe und Mischungen sowie Mischungen aus keramischen und nicht keramischen Spritzzusatzwerkstoffen;
- MCrAlY's (Ni-CrAlY-, Co-CrAlY-, NiCo-CrAlY-Spritzzusatzwerkstoffe).

Ferner liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, die Vorteile eines an sich bestehenden Kerosinbrenners (flüssig) zu nutzen, ohne dabei das Prinzip und somit auch die Vorteile des gasbetriebenen Brenners aufzugeben.

Desweiteren liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein geeignetes Verfahren zum Betrieb dieses Brenners zu entwickeln, um einen störungsfreien Beschichtungsprozeß bei der Nutzung optionaler Parameter zu gewährleisten.

Überraschenderweise wurde erfindungsgemäß festgestellt, daß die baulichen Parameter und somit die Betriebsparameter der herkömmlichen gasbetriebenen Brenner in idealster Weise für den Flüssigstoffbetrieb genutzt werden können. Bei bisherigen Kerosinbrennern ist nur die seitliche Zuführung der Spritzzusatzwerkstoffe möglich. Dies grenzt das Einsatzgebiet natürlich erheblich ein. Wenn man nun das Pulver oder den Zusatzwerkstoff auch erfindungsgemäß zentrisch von hinten einführen will, sind Maßnahmen zu treffen, die es erreichen, daß die Strecke zwischen Pulveraustritt im Zentrum der Brennkammer und Einmündung in die wassergekühlte Expansionsdüse auf eine optimierte Distanz gebracht wird.

All diese Aufgaben werden durch einen Brenner nach dem Kennzeichen des vorgeschlagenen Anspruchs 1, bzw. durch den Hauptverfahrensanspruch bzw. Nebensanspruch gelöst.

Besonders bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Hierbei wird die voran beschriebene Aufgabenstellung erfindungsgemäß und überraschenderweise mit geringem technischem Kostenaufwand gelöst. In einem an sich bekannten HVOF-Spritzbrenner mit zentraler Spritzzusatzwerkstoffzuführung, zentrisch-axial durch die Brennkammer mit nachgeschalteter, wassergekühlter Expansionsdüse wird in Spritzrichtung der Brennkammer nachgeordnet, eine Zuführeinheit eingebaut, die es ermöglicht, draht-, stab- oder pulverförmige



Spritzzusatzwerkstoffe radial aus mindestens jeweils zwei gegenüberliegenden rechtwinkelig oder in Richtung zur Spritzachse geneigten Zuführkanäle in die Expansionsdüse in den Hypersonic-Flammenstrahl einzuspeisen. Das Mischsystem des HVOF-Brenners wird darüber hinaus so modifiziert, daß der Betrieb mit allen derzeit bekannten, ungiftigen, technisch gasförmigen und flüssigen Brennstoffen in Verbindung mit Oxidationsgasen, wie Sauerstoff und Druckluft, für den HVOF-Spritzprozeß angewendet werden können. Die Auswahl des Brennstoff-Oxidations-Gasgemisches, das gegebenenfalls in Verbindung mit zusätzlichen Kühl- und Schutzgasen angewendet wird, ergibt sich aus der technischen Problemstellung der Beschichtungssapplikation in Verbindung mit dem jeweiligen Spritzzusatzwerkstoff, auch im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit.

Ein besonderes Merkmal der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß die wichtigsten Funktionselemente gegen andere nach dem Baukastenprinzip für den jeweils günstigsten Zusammenbau der einzelnen Komponenten zur Lösung des jeweils anstehenden Beschichtungsproblems unter Verwendung des am besten geeigneten Spritzzusatzwerkstoffs zur Verfügung steht.

Bei dem erfindungsgemäßen Spritzbrenner zum Verspritzen von stab-, draht- oder pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen unter Verwendung von wahlweise gasförmigen oder flüssigen Brennstoffen, in Verbindung mit einem Oxidationsgas, z. B. Druckluft oder Sauerstoff, werden die einzelnen Komponenten, wie bei dem HVOF-Brenner gemäß der EP-PS 0 612 567 beim Betrieb mit gasförmigen Brennstoffen in den Brenner eingebracht. Es ist jedoch die erfindungsgemäße Option der radialen, rechtwinkelig zur Spritzachse der Brennkammer nachgeschalteten Einbringung der Spritzzusatzwerkstoffe in die Expansionsdüse von jeweils zwei gegenüberliegenden Seiten in den HVOF-Spritzbrenner eingebaut. Die Modifikation des bekannten HVOF-Spritzbrenners besteht darin, daß die Brennkammer mit der nachgeschalteten, wassergekühlten Expansionsdüse zweistufig ausgebildet ist. Die Zuführung der Spritzzusatzwerkstoffe erfolgt über die gegenüberliegenden Radialbohrungen in der Expansionsdüse, genau am Übergang zur erweiterten Expansionsdüsenbohrung bzw. in die zweite Stufe der Expansionsdüse. Um die radiale Pulver- oder Spritzdrahtzuführung bei den bekannten Brennern zu ermöglichen, wurde erfindungsgemäß quer zur Spritzachse in den HVOF-Spritzbrenner eine Spannscheibe mit Kühlwasserbohrungen (Vor- und Rücklauf) sowie Zuführungskanäle mit Verschleißschutzhülle integriert, die zwischen dem Flanschring und dem Flansch der Außenschraubhülle eingebaut und fixiert sind.

Erfindungsgemäß wird diese Spannscheibe an der Kontaktstelle mit dem Kühlwasser durchströmten Bund auf der Expansionsdüse rechts und links von den beiden Pulverzuführbohrungen in der Expansionsdüse mit Weichdichtelementen (O-Ringe) gegen das Eindringen von Kühlwasser abgedichtet. Die erfindungsgemäße Ausgestaltung der Dichtstelle zwischen Spannscheibe und der hoch erhitzten Expansionsdüsenaußenwand während des Beschichtungsprozesses ist so gelöst, daß die Expansionsdüse im Dicht- und Einmündungsbereich der Spritzzusatzbohrungen mit einem zylindrischen Bund versehen ist, mit einer Vielzahl von axialen Kühlwasserbohrungen, so daß die Weichdichtelemente während des Brennerbetriebes nicht verbrennen und kein Kühlwasser in die Expansionsdüse eindringt. Der erfindungsgemäße Spritzbrenner kann beim Betrieb mit gas-

förmigen Brennstoffen in Verbindung mit Sauerstoff wahlweise radial über den quer zur Spritzachse der Brennkammer nachgeschalteten Bohrungen von jeweils zwei gegenüberliegenden Anschlüssen mit Spritzzusatzwerkstoffen beschickt werden oder wie vorher zentrisch-axial durch die Brennkammer, wenn dies der Spritzzusatzwerkstoff aufgrund seines hohen Schmelzpunktes erforderlich macht. In Sonderfällen zur Lösung spezifischer Beschichtungsprobleme können erfindungsgemäß beide Zuführungsmöglichkeiten von gleichartigen oder unterschiedlichen Spritzwerkstoffen axial-zentrisch oder radial nach der Brennkammer von zwei Seiten in den Brenner eingespeist werden. Für den Fall, daß der erfindungsgemäße HVOF-Brenner mit flüssigen Brennstoffen betrieben werden soll, wird in den Brenner ein Injektormischblock für die Mischung von flüssigem Brennstoff und Sauerstoff eingesetzt, indem Dosierungsbohrungen für flüssige Brennstoffe im Injektorbereich vorgesehen sind.

Erfindungsgemäß kann die Inbetriebnahme des HVOF-Brenners mit nachfolgend beschriebene Verfahren erfolgen:

Am Anschluß des Heckanschlußblocks des erfindungsgemäßen HVOF-Spritzbrenners, an dem normalerweise die Spritzzusatzwerkstoffe zentrisch-axial in die Brennkammer eingebracht werden, wird Wasserstoff als Pilot- und Zündgas über einen vorgeschalteten Sicherungsautomaten mit Gasrücktrittsicherung in die Brennkammer bei einem Zuströmdruck von ca. 8 bis 15 bar eingespeist (während der Pilotphase ca. 50 bis 100 l/min.  $H_2$ ). Über den geeigneten Anschluß wird wiederum über eine vorgeschaltete Explosionsschutzsicherung mit Gasrücktrittsicherung Sauerstoff, ca. 25 bis 50 l/min. bei ca. 15 bar Zuströmdruck eingespeist. Der Sauerstoff tritt dann aus den Injektormischbohrungen in die Brennkammer und vermischt sich mit dem Wasserstoff, der aus der Zentralbohrung austritt (Außenmischung des Zündgases mit  $O_2$ ).

Das Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch strömt durch die Expansionsdüsenbohrung und tritt stirnseitig aus, wo es elektrisch gezündet wird. Aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeit in der Expansionsdüsenbohrung und der hohen Zündungsgeschwindigkeit des Pilotgasgemisches schlägt die  $H_2 + O_2$ -Flamme zurück in die Brennkammer. Während dieser Operationsphase wird gleichzeitig über die Radialanschlüsse für die Spritzzusatzwerkstoffe von zwei Seiten  $N_2$  oder Ar als Pulvertransportgas in die zweite Stufe der Expansionsdüse eingespeist. Der nächste Operationsschritt besteht erfindungsgemäß darin, daß  $O_2 + H_2$  auf die vorgewählten maximalen Durchflusssmengen hochgefahren werden, so daß eine  $H_2 + O_2$ -Hochgeschwindigkeitsflamme entsteht, die aus der Expansionsdüsenbohrungsmündung austritt. Es strömen zu diesem Zeitpunkt nach vorgewählten Daten ca. 30 bis 60 m<sup>3</sup>  $O_2$  und 15 bis 30 m<sup>3</sup>  $H_2$ . Nun wird bei einem Druck von 8 bis 15 bar flüssiger Brennstoff vom entsprechenden Anschluß über einen vorgeschalteten Sicherungsautomaten mit integrierter Rückströmsicherung, vorwiegend Kerosene, zugespeist.

Somit werden ca. 0,3 bis 0,8 l/min. Kerosene über das Dosier- und Injektormischsystem in die Brennkammer mit  $O_2$  optimal vermischt und zerstäubt in die Brennkammer eingespeist. Das fein zerstäubte Kerosene-Sauerstoff-Gemisch, das aus den Injektormischbohrungen austritt, entzündet sich sofort, so daß es zu einer extremen Gasexpansions- und Temperaturerhöhung in der von außen wassergekühlten Brennkammer kommt. Es entsteht ein Hypersonic-Flammenstrahl mit einer Lei-

stung von 200 bis 400 kW, der mit mehrfacher Schallgeschwindigkeit aus der Expansionsdüsenbohrungsmündung austritt. Im Normalfall wird erfindungsgemäß nun das Pilotgas  $H_2$  abgeschaltet, so daß eine hoch energetische Kerosene- $O_2$ -HVOF-Flamme entsteht. Innerhalb der zweiten Expansionsdüsenstufe wird nun erfindungsgemäß von zwei Seiten der Spritzzusatzwerkstoff in den Hypersonic-Flammenstrahl eingespeist, geschmolzen und mit der extrem hohen, kinetischen Energie des Kerosenen-Sauerstoff-Flammenstrahls mit ca. 1500 bis 2000 m/sec. auf die Substratoberfläche geschossen, wo eine dichte, optimal haftende Spritzschicht mit sehr geringer Porosität entsteht. Die mit der voran geschilderten erfindungsgemäßen Technik erzeugten HVOF-Spritzschichten weisen Druckspannungen auf und sind deshalb nicht rißempfindlich. Erfindungsgemäß werden mit der reinen Kerosene-Sauerstoff-Flamme vorwiegend metallgebundene Hartstoffschichten wie auch reine metallische Spritzschichten erzeugt.

Hochschmelzende Spritzwerkstoffe, wie z. B. Mo und Keramik, lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Brenner dann verarbeiten, wenn in die Kerosene- $O_2$ -Flamme zusätzlich ein hoch energetisches Brenngas, wie z. B. Wasserstoff oder Methangas, eingespeist wird, um die thermische Energie der Kerosene- $O_2$ -Flamme so zu erhöhen, daß die vorgenannten Werkstoffe in ihr geschmolzen werden können. Während des HVOF-Spritzprozesses wird selbstverständlich die Brennkammer und die Expansionsdüse in einem geschlossenen Kühlkreislauf mit Wasser gekühlt. Erfindungsgemäß wird über den Heckanschluß von einem leistungsstarken Kühlblocksystem entmineralisiertes Kühlwasser eingespeist und durchströmt das gesamte Kühlsystem des Brenners, um aus diesem Anschluß wieder auszutreten und in den Kühlblock zurückzuströmen. Erfindungsgemäß nimmt das Kühlwasser somit etwa 20 bis 30% der eingesetzten thermischen Energie auf, während der HVOF-Spritzprozeß durchgeführt wird. Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß Verschleißschutzröhrchen eingesetzt werden, die in der axialen-zentrischen Zuführung positioniert sind. Diese Verschleißschutzröhrchen ragen in die Brennkammer bis zu einem Abstand von 7 bis 8 mm zum Austritt in die Expansionsdüse in die Brennkammer hinein und sind wassergekühlt ausgebildet. Am Heckanschluß des Brenners sind erfindungsgemäß außer den normalen Anschlüssen für die Zuführung der Betriebskomponenten zwei separate Anschlüsse für Kühlwasser-Ein- und -Ausgang zur Kühlung der zentralen Spritzkomponenten Verschleißschutzhülsen, speziell des Bereiches, der in die Brennkammer hineinragt, optimal gekühlt. Der Vorteil dieser Konzeption liegt darin, daß der zentrisch-axial zugeführte Spritzzusatzwerkstoff vorwiegend in Pulverform nach dem Austreten in die Brennkammer nur eine sehr kurze Distanz zu überwinden hat, um in die Expansionsdüsenbohrung zu gelangen, ohne daß Spritzpartikel den Prozeß störend auf die Stirnseite der Brennkammer gelangen können und sich dort ablagern und anbacken. Durch die kurze Streckenführung des Spritzzusatzwerkstoffes durch die Brennkammer, wird auch eine Überhitzung bzw. Überschmelzung des Spritzgutes vermindert und unerwünschte Oxidations- und Phasenumwandlungen vermieden.

Eine weitere besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung besteht darin, daß bei einer weiteren Brennervariante mit einer zweistufigen, großvolumigen Brennkammer gearbeitet wird, die praktisch ebenfalls

mit allen technisch-brennbaren Gasen und flüssigen Brennstoffen betrieben werden kann. Die Zuspewung der draht-, stab- oder pulverförmigen Spritzzusätze kann wahlweise axial zentrisch durch die Brennkammer oder radial der Brennkammer nachgeschaltet quer zur Spritzachse von zwei gegenüberliegenden Zuführungen in die Expansionsdüse erfolgen. Der Vorteil dieser Brennerkonzeption liegt basierend auf der großvolumigen zweistufigen Brennkammer darin, daß er problemlos mit solchen brennbaren Gasen in Verbindung mit Druckluft oder Sauerstoff betrieben werden kann, die eine vergleichbar zu Wasserstoff oder Acetylen niedrige Zünd- und Verbrennungsgeschwindigkeit besitzen, z. B. Stadtgas, Methan-, Butan-Gemische oder Erdgas.

Eine weitere Variante der vorliegenden Erfindung besteht darin, daß der erfindungsgemäße HVOF-Brenner mit einem zusätzlichen Druckgasanschluß als zusätzliche Option versehen ist. Über diesen zusätzlichen Anschluß am Heckanschluß können Kühl- oder Schutzgase in den Verbrennungsprozeß beim Verbrennen der Brennstoff-Oxidationsgase eingespeist werden, um die Verbrennungstemperatur und andere Faktoren variieren zu können, die sich positiv auf die Spritzschichtqualität auswirken.

Eine weitere besonders bevorzugte Ausführungsvariante der vorliegenden Erfindung besteht darin, im Injektorgasmischblockzentrum eine Zündkerze einzubauen. Der erfindungsgemäße HVOF-Spritzbrenner dieser Variante besitzt eine zweistufige Brennkammer und die Spritzzusatzwerkstoffe werden der Brennkammer nachgeschaltet, quer zur Spritzachse über zwei gegenüberliegende Einspeisvorrichtungen, in die Expansionsdüse eingebracht. Beim Betrieb des HVOF-Brenners mit den verschiedenen Brenngasen in Verbindung mit Sauerstoff oder Druckluft wird das Gemisch in der Brennkammer direkt beim Start elektrisch gezündet. Die Verwendung eines Zündgasgemisches zur Erzeugung einer Pilotflamme entfällt. Da die Zündung von innen in der Brennkammer erfolgt, ist auch beim Betrieb des Brenners mit flüssigen Brennstoffen mit Druckluft oder Sauerstoff die Erzeugung einer  $H_2 + O_2$ -Pilotflamme nicht erforderlich, z. B. kann das Kerosene- $O_2$ -Gemisch bei der Inbetriebnahme direkt in der Brennkammer gezündet werden.

Eine weitere Variante der vorliegenden Erfindung besteht darin, den Außenmischblock mit Mischblockträger mit integrierten Druckgas-Shroude auszubilden. Mit diesem Mischblock werden die verschiedenen Komponenten außerhalb des Blockes gemischt, z. B. in der Brennkammer. Mit diesem Sonderbauteil können ebenfalls beim Einbau in den erfindungsgemäßen HVOF-Brenner spezielle Effekte bei der Verbrennung von Gasen oder flüssigen Brennstoffen  $O_2$  erzielt werden.

Fig. 1 zeigt den erfindungsgemäßen Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner in einem senkrechten Längsschnitt,

Fig. 2 den erfindungsgemäßen Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner in einem weiteren Längsschnitt,

Fig. 3 die Expansionsdüse,

Fig. 3a einen Schnitt (vergrößert) durch die Expansionsdüse entlang der in Fig. 3 angedeuteten Linie B-B,

Fig. 3b einen Schnitt (vergrößert) durch die Expansionsdüse entlang der in Fig. 3 angedeuteten Linie A-A,

Fig. 4 einen Schnitt entlang der in Fig. 1 angedeuteten Linie A-A mit dargestellter Spannscheibe,

Fig. 5 zeigt eine Variante des erfindungsgemäßen Brenners mit wassergekühltem Pulver-Insert in die

Brennkammer ragend,

Fig. 5a eine Ansicht des Brenners aus der in Fig. 5 angedeuteten Richtung A,

Fig. 6 den erfindungsgemäßen Brenner in einer weiteren Variante, hier mit zweistufiger Brennkammer im waagerechten Längsschnitt,

Fig. 7 einen senkrechten Längsschnitt des Brenners,

Fig. 8 einen Schnitt entlang der in Fig. 6 angedeuteten Linie A-A mit dargestellter Spannscheibe,

Fig. 9 den erfindungsgemäßen Brenner mit zweistufiger Brennkammer in einer weiteren Ausführungsform mit einem zusätzlichen Druckgasanschluß,

Fig. 9a eine Ansicht des Brenners aus der in Fig. 9 angedeuteten Richtung A,

Fig. 10 den erfindungsgemäßen Brenner mit einer im Mischblock integrierten Zündeinrichtung (Zündkerze),

Fig. 11 den Injektormischblock mit integrierter Zündkerze,

Fig. 12 zeigt einen Längsschnitt des Injektorgasmischblocks mit Mischblockträger mit integriertem Dosiersystem im Injektorbereich für flüssige Brennstoffe,

Fig. 12a einen Schnitt entlang der in Fig. 12 angedeuteten Linie A-A,

Fig. 13 stellt in einem Längsschnitt einen Außenmischblock dar mit Mischblockträger mit integrierten Druckgasschlauch,

Fig. 13a eine Ansicht des Mischblocks aus der in Fig. 13 angedeuteten Richtung A,

Fig. 14 das Injektorgasmischsystem,

Fig. 14a eine Ansicht des Gasmischsystems aus der in Fig. 14 mit A gekennzeichneten Richtung.

Zunächst sollen anhand den Fig. 1, 3 und 4 die einzelnen Komponenten des erfindungsgemäßen Brenners sowie teilweise auch die wichtigsten Elemente beschrieben werden.

Mit dem Bezugszeichen 1 ist der gesamte Brenner gekennzeichnet. Die erfindungsgemäße Modifikation des HVOF-Spritzbrenners 1 besteht hauptsächlich in der zweistufig ausgebildeten, wassergekühlten, der Brennkammer 15 nachgeschalteten Expansionsdüse 6. Die Zuführung der Spritzzusatzwerkstoffe erfolgt über die gegenüberliegenden Radialbohrungen bzw. Zuführbohrungen 14 der Spannscheibe 10 im Übergang in die Kanäle 14a der Expansionsdüse. Erfindungsgemäß erfolgt diese Zuführung genau am Übergang 16 der Expansionsdüse 6 von der ersten Stufe 6a zur zweiten Stufe 6b. Der Übergang wird durch eine Stufe 18 gebildet, wobei von der ersten Stufe 6a die zur Brennkammer 15 hinweist, zur zweiten Stufe 6b eine Aufweitung vorliegt. Im Bereich der Spritzzusatzwerkstoffzuführung besitzt die Expansionsdüse 6 einen Bund 20, auf der die Spannscheibe 10 aufsitzt. Der Bund 20 ist mit axialen Kühlwasserbohrungen 23 durchsetzt.

Wie bereits erwähnt, wurde erfindungsgemäß, um die radiale Pulver- oder Spritzdrahtzuführung am Brenner 1 zu ermöglichen, quer zur Spritzachse in den HVOF-Spritzbrenner 1 eine Spannscheibe 10 mit Kühlwasserbohrungen 38 (Vor- und Rücklauf) sowie Zuführungskanäle 14 mit Verschleißschutzhülsen 39 integriert, die zwischen dem Flanschring 9 und dem Flansch 40 der Außenschraubhülse 12 eingebaut und fixiert sind.

Die Spannscheibe 10 ist an der Kontaktstelle 19 mit dem kühlwasserdurchströmten Bund 20 auf der Expansionsdüse 6 rechts und links von den beiden Pulverzuführungsbohrungen 14 in der Expansionsdüse 6 mit Weichdichtelementen 21, bevorzugterweise O-Ringen, gegen das Eindringen von Kühlwasser abgedichtet. Die spezielle Ausgestaltung der Dichtstelle zwischen der

Spannscheibe 10 und der hocherhitzten Expansionsdüsenaußenwand während des Beschichtungsprozesses wurde erfindungsgemäß so gelöst, daß die Expansionsdüse 6 im Dicht- und Einmündungsbereich bzw. der Kontaktstelle 19 der Spritzzusatzbohrungen 14 mit einem zylindrischen Bund 20 versehen ist, der mit einer Vielzahl von axialen Kühlwasserbohrungen 23 durchsetzt ist, so daß die Weichdichtelemente 21 während des Brennerbetriebes nicht verbrennen und kein Kühlwasser in die Expansionsdüse 6 eindringen kann.

Der erfindungsgemäße HVOF-Spritzbrenner 1 kann beim Betrieb mit gasförmigen Brennstoffen in Verbindung mit Sauerstoff wahlweise radial über die quer zur Spritzachse der Brennkammer 15 nachgeschalteten Bohrungen 14 von jeweils zwei gegenüberliegenden Anschlüssen 29 mit Spritzzusatzwerkstoffen beschickt werden oder wie vorher zentrisch-axial durch die Brennkammer 15, wenn dies der Spritzzusatzwerkstoff aufgrund seines hohen Schmelzpunktes erforderlich macht.

In Sonderfällen, zur Lösung spezifischer Beschichtungsprobleme können beide Zuführungsmöglichkeiten, durch die Zentralbohrung 28 bzw. über den Anschluß 25 oder über die Anschlüsse 29 und die Kanäle 14 nach der Brennkammer 15 von zwei Seiten in den Brenner 1 eingespeist werden.

Für den Fall, daß der HVOF-Brenner 1 mit flüssigen Brennstoffen betrieben werden soll, wird in den Brenner 1 gemäß den Abb. 1, 2, 5, 6, 7, 9 und 10 ein Injektormischblock 4 für die Mischung von flüssigem Brennstoff und Sauerstoff gemäß Fig. 12 eingesetzt, indem Dosierbohrungen 24 für flüssige Brennstoffe im Injektorbereich vorgesehen sind.

Ferner sind in Fig. 1 folgende Komponenten dargestellt: Mit dem Bezugszeichen 2 ist das Grundkörpergehäuse gekennzeichnet. Das Grundkörpergehäuse 2 umgibt die Zwischenspannschraubhülse 7 für die Brennkammer-Kühlwasserführungshülse. Am expansionsdüsenseitigen Ende des Grundkörpergehäuses ist auch noch die Außenschraubhülse 8 aufgenommen, die mit ihrem Flanschring 9 zusammen mit dem Außenwassermantel 12, bzw. dessen Flansch 40 die Spannhülse 10 einschließt. Mit dem Bezugszeichen 3 ist der Mischblockträger und mit dem Bezugszeichen 4 der Injektormischblock gekennzeichnet. Neben den erfindungswesentlichen Elementen, Anordnungen und Applikationen entspricht die Funktion vorgenannter Elemente den Brennern, wie eingangs zitiert. An dem der Expansionsdüse 6 wegweisenden Ende befindet sich der Betriebskomponenten-Heckanschlußblock 5. In diesem sind die Anschlüsse 25, 26 und 30 eingebracht. Über die Zentralbohrung 28 bzw. die axiale zentrische Zuführung 31 kann der Spritzzusatzwerkstoff in die Brennkammer 15 eingeführt werden.

Hier sind Verschleißschutzhöhrchen 32 integriert, die erfindungsgemäß auch weiter in die Brennkammer gegen die Expansionsdüsenbohrung 17 zu hinausgeführt werden können. Mit dem Bezugszeichen 13 ist die Spritzachse gekennzeichnet, die sich koaxial durch den Anschluß 25, die Zentralbohrung 28, durch die Brennkammer 15, bis hin zur Expansionsdüsenbohrung 17 erstreckt. Mit dem Bezugszeichen 11 ist der Innenwassermantel gekennzeichnet, der in ansich bekannter Weise zwischen der Expansionsdüse 6 und dem Außenwassermantel 12 Zu- und Rückführungskühlkanäle schafft.

Am Anschluß 25 des Heckanschlußblocks 5 des HVOF-Brenners 1, kann Wasserstoff als Pilot- und Zündgas über einen an sich bekannten vorgeschalteten

Sicherungsautomaten mit Gasrücktrittssicherung in die Brennkammer 15 eingespeist werden. Bevorzugterweise wird hier ein Zuströmdruck von 8 bis 15 bar mit etwa 50 bis 100 l/min  $H_2$  während der Pilotphase gewählt. Über den Anschluß 26 wird ebenfalls über eine vorgeschaltete und an sich bekannte Explosionsschutzsicherung mit Gasrücktrittssicherung, die hier nicht näher dargestellt ist, etwa 25 bis 50 l/min Sauerstoff bei ca. 15 bar Zuströmdruck eingespeist. Der Sauerstoff tritt aus den Injektormischbohrungen 41 und 42 in die Brennkammer 15 und vermischt sich mit dem Wasserstoff, der aus der Zentralbohrung 28 austritt (Außenmischung des Zündgases mit  $O_2$ ). Das Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch strömt durch die Expansionsdüsenbohrung 17 und tritt stirnseitig aus, wo es elektrisch gezündet wird. Aufgrund der geringen Strömungsgeschwindigkeit in der Expansionsdüsenbohrung 17 und der hohen Zündgeschwindigkeit des Pilotgasgemisches schlägt die  $H_2 + O_2$ -Flamme zurück in die Brennkammer 15.

Während dieser Phase wird gleichzeitig über die Radialanschlüsse 29 für die Spritzzusatzwerkstoffe von zwei Seiten  $N_2$  oder Ar als Pulvertransportgas in die zweite Stufe 6a der Expansionsdüse 6 bzw. deren Bohrung 17 eingespeist. Anschließend werden  $O_2 + H_2$  auf die vorgewählten maximalen Durchflußmengen hochgefahren, so daß eine  $H_2 + O_2$ -Hochgeschwindigkeitsflamme entsteht, die aus der Expansionsdüsenbohrungsmündung 17a austritt. Es strömen zu diesem Zeitpunkt nach vorgewählten Daten etwa 30 bis 70 m<sup>3</sup>  $O_2$  und 15 bis 30 m<sup>3</sup>  $H_2$ . Nun wird bei einem Druck von 8 bis 15 bar flüssiger Brennstoff am Anschluß 30 über einen vorgeschalteten Sicherungsautomaten mit integrierter und an sich bekannter Rückstromsicherung, vorwiegend Kerosene, zugespeist. Somit werden ca. 0,3 bis 0,8 l/min Kerosene über das Dosier- und Injektormischsystem in die Brennkammer 15 mit  $O_2$  optimal vermischt und zerstäubt, in die Brennkammer 15 eingepreßt. Das feinerstäubte Kerosene-Sauerstoff-Gemisch, das aus den Injektormischbohrungen 41 und 42 austritt, entzündet sich sofort, so daß es zu einer extremen Gasexpansions- und Temperaturerhöhung in der von außen wassergekühlten Brennkammer 15 kommt. Es entsteht ein Hypersonic-Flammenstrahl mit einer Leistung von 200 bis 400 Kw, der mit mehrfacher Schallgeschwindigkeit aus der Expansionsdüsenbohrungsmündung 17a austritt. Im Normalfall wird nun das Pilotgas  $H_2$  abgeschaltet, so daß eine hochenergetische Kerosene- $O_2$ -HVOF-Flamme entsteht. Innerhalb der zweiten Expansionsdüsenstufe 6b wird nun von zwei Seiten der Spritzzusatzwerkstoff in den Hypersonic-Flammenstrahl eingespeist, geschmolzen und mit der extrem hohen, kinetischen Energie des Kerosene-Sauerstoff-Flammenstrahls mit ca. 1500 bis 2000 m/sec. auf die Substratoberfläche geschossen, wo eine dichte, optimal haftende Spritzschicht mit sehr geringer Porosität entsteht. Die so erzeugten HVOF-Spritzschichten weisen Druckschwingungen auf und sind deshalb nicht rissempfindlich. Mit der reinen Kerosene-Sauerstoffflamme können vorwiegend metallgebundene Hartstoffschichten wie auch reine metallische Spritzschichten erzeugt werden. Hochschmelzende Spritzwerkstoffe, wie z. B. Mo und Ceramics, lassen sich mit dem Brenner 1 dann verarbeiten, wenn in die Kerosene- $O_2$ -Flamme zusätzlich ein hochenergetisches Brenngas, wie z. B. Wasserstoff oder Methangas, eingespeist wird, um die thermische Energie der Kerosene- $O_2$ -Flamme so zu erhöhen, so daß die vorgenannten Werkstoffe in ihr geschmolzen werden können. Während des HVOF-Spritzprozesses wird

selbstverständlich die Brennkammer 15 und die Expansionsdüse 6 in einem geschlossenen Kühlkreislauf mit Wasser gekühlt. Über den Heckanschluß 30 wird von einem an sich bekannten leistungsstarken Kühlblocksystem entmineralisiertes Kühlwasser eingespeist und durchströmt das ganze Kühlsystem des Brenners 1, um aus dem Anschluß 26 mit der Bezeichnung "water output" wieder auszutreten und in den Kühlblock zurückzuströmen. Das Kühlwasser nimmt etwa 20 bis 30% der eingesetzten thermischen Energie auf, während der HVOF-Spritzprozeß durchgeführt wird und geht dadurch verloren.

Die Fig. 5 zeigt eine Variante des erfindungsgemäßen Brenners 1. Dieser Brenner 1 ist zum Betrieb mit allen technischen, brennbaren Gasen und flüssigen Brennstoffen in Verbindung mit Sauerstoff geeignet. Zu erkennen sind die Verschleißschutzröhrchen 32, für die axiale zentrische Zuführung von Spritzzusatzwerkstoffen in die Brennkammer 15. Diese ragen bis zu einem Abstand von 7 bis 8 mm zum Austritt in die Expansionsdüse 6 in die Brennkammer 15 hinein und sind wassergekühlt ausgebildet.

Am Heckanschlußblock 5 sind außer den normalen Anschlüssen für die Zuführung der Betriebskomponenten zwei separate Anschlüsse für Kühlwasser-Ein- und Ausgang 33 und 34 zur Kühlung der zentralen Spritzkomponentenverschleißschutzhülsen 32 vorgesehen, speziell des Bereiches, der in die Brennkammer 15 hineinragt und optimal gekühlt wird. Der Vorteil dieser Konzeption liegt daran, daß der zentrisch-axial zugeführte Spritzzusatzwerkstoff vorwiegend in Pulverform nach dem Austreten in die Brennkammer 15 nur eine sehr kurze Distanz zu überwinden hat, um in die Expansionsdüsenbohrung 17 zu gelangen, ohne daß Spritzpartikel den Prozeß störend auf die Stirnseite der Brennkammer 15 gelangen können und sich dort ablagern und anbacken. Durch die kurze Streckenführung des Spritzzusatzwerkstoffes durch die Brennkammer 15 wird auch eine Überhitzung bzw. Überschmelzung des Spritzgutes vermindert und unerwünschte Oxidations- und Phasenumwandlungen vermieden.

Die Fig. 6 und 7 zeigen eine weitere Variante der vorliegenden Erfindung. Der Brenner 1 weist eine zweistufige, großvolumige Brennkammer 15a auf, die praktisch ebenfalls mit allen technischen, brennbaren Gasen und flüssigen Brennstoffen betrieben werden kann. Die Zusp eisung der draht-, stab- oder pulverförmigen Spritzzusätze kann wahlweise axial-zentrisch durch die Brennkammer 15a oder radial der Brennkammer 15a nachgeschaltet, quer zur Spritzachse 13 von zwei gegenüberliegenden Zuführungen bzw. Radialanschlüssen 29 in die Expansionsdüse 6 erfolgen. Der Vorteil dieser Brennerkonzeption liegt basierend auf der großvolumigen, zweistufigen Brennkammer 15a darin, daß er problemlos mit solchen brennbaren Gasen in Verbindung mit Druckluft oder Sauerstoff betrieben werden kann, die eine vergleichbar zu Wasserstoff oder Acetylen niedrige Zünd- und Verbrennungsgeschwindigkeit besitzen, z. B. Stadtgas, Methan-Butan-Gemische oder Erdgas.

In Fig. 9 ist der erfindungsgemäße Brenner mit einem zusätzlichen Druckgasanschluß 35 als zusätzliche Option dargestellt.

Über den zusätzlichen Anschluß 35 am Heckanschlußblock 5 können Kühl- oder Schutzgase in den Verbrennungsprozeß beim Verbrennen der Brennstoff-Oxidationsgase eingespeist werden, um die Verbrennungstemperatur und andere Faktoren variieren zu

können, die sich positiv auf die Spritzqualität auswirken.

Fig. 10 zeigt eine weitere Variante der vorliegenden Erfindung im waagerechten Längsschnitt, bei dem in dem Injektorgasmischblockzentrum 36 eine Zündkerze 37 eingebaut ist. Der erfindungsgemäße Brenner 1 besitzt eine zweistufige Brennkammer 15a und die Spritzzusatzwerkstoffe werden der Brennkammer 15a nachgeschaltet, quer zur Spritzachse über zwei gegenüberliegende Einspeisvorrichtungen bzw. Radialanschlüsse 29 in die Expansionsdüse 6 eingebracht. Beim Betrieb des HVOF-Brenners 1 mit den verschiedenen Brenngasen in Verbindung mit Sauerstoff oder Druckluft wird das Gemisch in der Brennkammer 15a direkt beim Start elektrisch gezündet. Die Verwendung eines Zündgasgemisches zur Erzeugung einer Pilotflamme entfällt. Da die Zündung von innen in der Brennkammer 15a erfolgt, ist auch beim Betrieb des Brenners 1 mit flüssigen Brennstoffen mit Druckluft oder Sauerstoff die Erzeugung einer  $H_2 + O_2$ -Pilotflamme nicht erforderlich, z. B. kann das Kerosene- $O_2$ -Gemisch bei der Inbetriebnahme direkt in der Brennkammer 15a gezündet werden.

In den weiteren Figuren, auf die in der vorliegenden Beschreibung nicht näher eingegangen wurde, sind die gleichen Elemente mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Brenner
- 2 Grundkörpergehäuse
- 3 Mischblockträger
- 4 Injektormischblock
- 5 Betriebskomponenten-Heckanschlußblock
- 6 Wassergekühlte Brennkammer mit nachgeschalteter Expansionsdüse
- 7 Zwischenspannschraubhülse für Brennkammer-Kühlwasserführungshülse
- 8 Außenschraubhülse mit Flanschhalterung
- 9 Flanschring
- 10 Spannscheibe
- 11 Innenwassermantel
- 12 Außenwassermantel
- 13 Spritzachse
- 14 Zuführbohrungen in 10
- 15 Brennkammer
- 16 Übergang der Expansionsdüse 6 von erster Stufe zur zweiten Stufe
- 17 Expansionsdüsenbohrung
- 18 Stufe bei 16
- 19 Kontaktstelle
- 20 Kühlwasserdurchströmter Bund von 6
- 21 Weichdichtelemente/O-Ringe
- 22 Dicht- und Einmündungsbereich von 14
- 23 Axiale Kühlwasserbohrungen in 20
- 24 Dosierungsbohrungen für flüssige Brennstoffe
- 25 Anschluß
- 26 Anschluß
- 27 Injektormischbohrungen
- 28 Zentralbohrung
- 29 Radialanschlüsse
- 30 Anschluß
- 31 axiale zentrische Zuführung
- 32 Verschleißschutzröhrchen
- 33 Zusätzlicher Anschluß für Verschleißhülseunkühlung (Eingang)
- 34 Zusätzlicher Anschluß für Verschleißhülseunkühlung (Ausgang)
- 35 Anschluß für Kühl- und Schutzgas

- 36 Injektorgasmischblockzentrum
- 37 Zündkerze
- 38 Kühlwasserbohrung in 10
- 39 Verschleißschutzhülsen von 14
- 40 Flansch von 12
- 41 Injektormischbohrung
- 42 Injektormischbohrung

#### Patentansprüche

1. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner zum Verspritzen von draht-, stab- und/oder pulverförmigen Spritzzusatzwerkstoffen, mit einem Anschlußblock zur Einleitung der Betriebsmedien, dem ein Mischblockträger sowie ein daran anschließender Injektorinischblock mit folgender Brennkammer mit Expansionsdüse nachgeordnet sind, sowie mit einem Kühlkreislaufsystem für die Betriebskomponenten, dadurch gekennzeichnet, daß zum Betrieb mit gasförmigen und/oder gleichzeitigen flüssigen Brennstoffen in Verbindung mit Oxidationsgas, Druckluft und/oder Sauerstoff Mittel vorgesehen sind, die wahlweise eine zentrische Zuführung der Spritzzusatzwerkstoffe vom Heckanschlußflansch (5) des Brenners (1) durch die wassergekühlte Brennkammer (15) mit nachgeschalteter Expansionsdüse (6) in das Zentrum des Hypersonic-Flammenstrahls oder radial quer oder geneigt zur Spritzachse (13) aus mindestens zwei gegenüberliegenden Zuführungsbohrungen (14) nach der Brennkammer (15) in Spritzrichtung angeordnet in das Zentrum der wassergekühlten Expansionsdüse (6) gewährleisten.
2. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur universellen Anwendbarkeit durch eine zwischen dem Flansch (40) eines Außenwassermantels (12) und dem auf einer Außenschraubhülse (8) sitzenden Flanschring (9) angeordneten Spannscheibe (10) gebildet sind.
3. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine Expansionsdüse (6) vorgesehen ist, welche einstufig oder mehrstufig ausgebildet ist.
4. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführungsbohrungen (14) für die Spritzzusatzwerkstoffe in der Spannscheibe (10) angeordnet sind.
5. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführungsbohrungen (14) der Spannscheibe (10) am Übergang (16) der Expansionsdüse (6) von der ersten Stufe (6a) zur zweiten Stufe (6b) in die Expansionsdüsenbohrung (17) einmündend angeordnet sind.
6. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß am Übergang (16) zwischen erster Stufe (6a) und zweiter Stufe (6b) der Expansionsdüse (6) eine Stufe bzw. Treppe (18) gebildet ist.
7. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen erster Stufe (6a) und zweiter Stufe (6b) der Expansionsdüse (6) eine von der ersten zur zweiten Stufe führende



Aufweitung vorliegt.

8. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Funktionselemente im Baukastenprinzip austauschbar sind.

9. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Spritzzusatzwerkstoffe über die gegenüberliegenden radialen Zuführungsbohrungen (14, 14a) in der Spannscheibe (10) bzw. Expansionsdüse (6) genau am Übergang (16) bzw. in die zweite Stufe (6b) der Expansionsdüse (6) zuführbar sind.

10. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Expansionsdüse (6) im Dicht- und Einmündungsbereich (22) der Spritzzusatzbohrungen (14) mit einem zylindrischen Bund (20) versehen ist.

11. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannscheibe (10) an der Kontaktstelle (19) mit dem kühlwasserdurchströmten Bund (20) auf der Expansionsdüse (6) beidseits von den Pulverzuführbohrungen (14a) in der Expansionsdüse (6) mit Weichdichtelementen (21) gegen das Eindringen von Kühlwasser abgedichtet ist.

12. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Weichdichtelemente (21) durch O-Ringe gebildet sind.

13. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß der Bund (20) der Expansionsdüse (6) mit einer Vielzahl von axialen Kühlwasserbohrungen (23) zur Kühlung der Weichdichtelemente (21) während des Brennerbetriebes und zur Vermeidung von Kühlwassereintritt in die Expansionsdüse (6) versehen ist.

14. Verfahren nach Anspruch 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Injektormischblock (4) Dosierungsbohrungen (24) für flüssige Brennstoffe im Injektorbereich aufweist.

15. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß in der axialen-zentrischen Zuführung (31) für den Spritzzusatzwerkstoff Verschleißschutzröhrchen (32) eingesetzt sind.

16. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Verschleißschutzröhrchen (32) in die Brennkammer (15) ragen.

17. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Verschleißschutzröhrchen (32) bis in den unmittelbaren Einmündungsbereich in die Expansionsdurchbohrung (6) in die Brennkammer (15) hineinragen.

18. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Verschleißschutzröhrchen (32) wassergekühlt ausgebildet sind.

19. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß am Heckanschlußblock (5) des Brenners (1) außer den normalen Anschlüssen für die Zuführung der Betriebskompo-

nenten zwei separate Anschlüsse (33, 34) für Kühlwasser-Ein- und Ausgang zur Kühlung der zentralen Spritzkomponenten Verschleißschutzröhrchen (32), speziell des Bereiches, der in die Brennkammer hineinragt, angeordnet sind.

20. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Brenner (1) mindestens ein- oder zweistufige oder mehrstufige Brennkammern (15a) aufweist.

21. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß zum Zwecke der Variationsmöglichkeit der Verbrennungstemperatur und weiterer Faktoren am Heckanschlußblock (5) des Brenners (1) mindestens ein zusätzlicher Anschluß (35) zur Einleitung von Kühl- oder Schutzgasen in den Verbrennungsprozeß beim Verbrennen der Brennstoff-Oxidationsgase vorgesehen ist.

22. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß im Injektormischblockzentrum (36) eine Zündkerze (37) angeordnet ist.

23. Universell anwendbarer Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach Anspruch 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennkammer (15a) großvolumig ausgebildet ist.

24. Brenner nach Anspruch 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die Spannscheibe Kühlwasserbohrungen (38) aufweist, die quer zu den radialen Zuführbohrungen (14) die Spannscheibe (10) durchsetzen.

25. Brenner nach Anspruch 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführbohrungen (14) der Spannscheibe (10) von Verschleißschutzröhrchen (39) umgeben oder gebildet sind.

26. Verfahren zum Betreiben des universell anwendbaren Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach den Ansprüchen 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß beim Betrieb mit gasförmigen Brennstoffen in Verbindung mit Sauerstoff der Brenner optimal sowohl radial als auch axial zentrisch gleichzeitig mit Spritzzusatzwerkstoffen beschickbar ist.

27. Verfahren zum Betreiben des universell anwendbaren Hochgeschwindigkeits-Flammspritzbrenner nach den Ansprüchen 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß zum Betrieb mit flüssigen Brennstoffen der Brenner (1) mit einem spezifischen Injektormischblock (4) für die Mischung von flüssigem Brennstoff und Sauerstoff bestückbar ist.

28. Verfahren nach Anspruch 26 und 27, dadurch gekennzeichnet, daß am für die zentrisch-axiale Einbringung der Spritzzusatzwerkstoffe in den Brenner vorgesehenen Anschluß (25) des Heckanschlußblocks (5) Wasserstoff als Pilot- und Zündgas über einen vorgeschalteten Sicherungsautomaten mit Gasrücktrittssicherung in die Brennkammer (15) einführbar ist.

29. Verfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Einführung des Pilot- und Zündgases bei einem Zuströmdruck von ca. 5 bis 15 bar erfolgt.

30. Verfahren nach Anspruch 26—29, dadurch gekennzeichnet, daß der Anschluß (26) über eine vorgeschaltete Explosionsschutzsicherung mit Gasrücktrittssicherung mit Sauerstoff speisbar ist, der



nach Austritt aus den Injektormischbohrungen in die Brennkammer (15) mit aus der Zentralbohrung (28) austretenden Wasserstoff mischbar ist.

31. Verfahren nach Anspruch 26—30, dadurch gekennzeichnet, daß das Wasserstoff-Sauerstoffgemisch nach Durchströmen der Expansionsdüsenbohrung (17) und stirnseitigem Austritt elektrisch gezündet wird. 5

32. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Sauerstoffzuführung über den entsprechenden Anschluß (26) im Umfang von ~25 bis ~1000 l/min und > ca. 15 bar Zuströmdruck erfolgt. 10

33. Verfahren nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß während der Operationsphase gleichzeitig über die Radialanschlüsse (29) für die Spritzzusatzwerkstoffe von zwei Seiten Pulvertransportgas in die zweite Stufe (6b) der Expansionsdüse (6) eingespeist wird. 15

34. Verfahren nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, daß als Pulvertransportgas  $N_2$ , Ar oder andere nicht brennbare Gase Anwendung findet. 20

35. Verfahren nach Anspruch 26—34, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung einer Hochgeschwindigkeitsflamme Sauerstoff und Wasserstoff auf die vorgewählten Durchflußmengen hochgefahren werden. 25

36. Verfahren nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Durchflußmengen etwa 30 bis 60  $m^3 O_2$  und 15 bis 30  $m^3 H_2$  betragen. 30

37. Verfahren nach Anspruch 26—36, dadurch gekennzeichnet, daß am Anschluß (30) über einen vorgeschalteten Sicherungsautomaten mit integrierter Rückstromsicherung, flüssiger Brennstoff zugespeist wird. 35

38. Verfahren nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, daß als flüssiger Brennstoff Kerosene, Methanol u. a. eingesetzt werden.

39. Verfahren nach Anspruch 37 und 38, dadurch gekennzeichnet, daß der Zuspaisedruck für flüssige Brennstoffe 8 bis 15 bar beträgt. 40

40. Verfahren nach Anspruch 37—39, dadurch gekennzeichnet, daß ca. 0,3 bis 0,8 l/min. Kerosene oder gleichwertiger flüssiger Brennstoff über das Dosier- und Injektormischsystem in die Brennkammer (15) mit  $O_2$  vermischt und zerstäubt in die Brennkammer eingepreßt werden. 45

41. Verfahren nach Anspruch 26—40, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung einer hochenergetischen Kerosene- $O_2$ -HVOF-Flamme das Pilotgas  $H_2$  abgeschaltet wird. 50

42. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß beim Einsatz von hochschmelzenden Spritzzusatzwerkstoffen, wie z. B. Mo und Ceramics zum Zwecke der Bildung einer Kerosenen- $O_2$ -Flamme mit erhöhter thermischer Energie und zur Schmelzung hochschmelzender Spritzzusatzwerkstoffe in dieser Flamme zusätzlich ein hochenergetisches Brenngas zugeführt wird. 55

43. Verfahren nach Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, daß als hochenergetisches Brenngas z. B. Wasserstoff oder Methangas oder andere Brenngase oder Brenngasgemische verwendet wird. 60

44. Verfahren nach Anspruch 26—43, dadurch gekennzeichnet, daß das Gemisch in der Brennkammer direkt beim Start elektrisch gezündet wird. 65

Hierzu 14 Seite(n) Zeichnungen

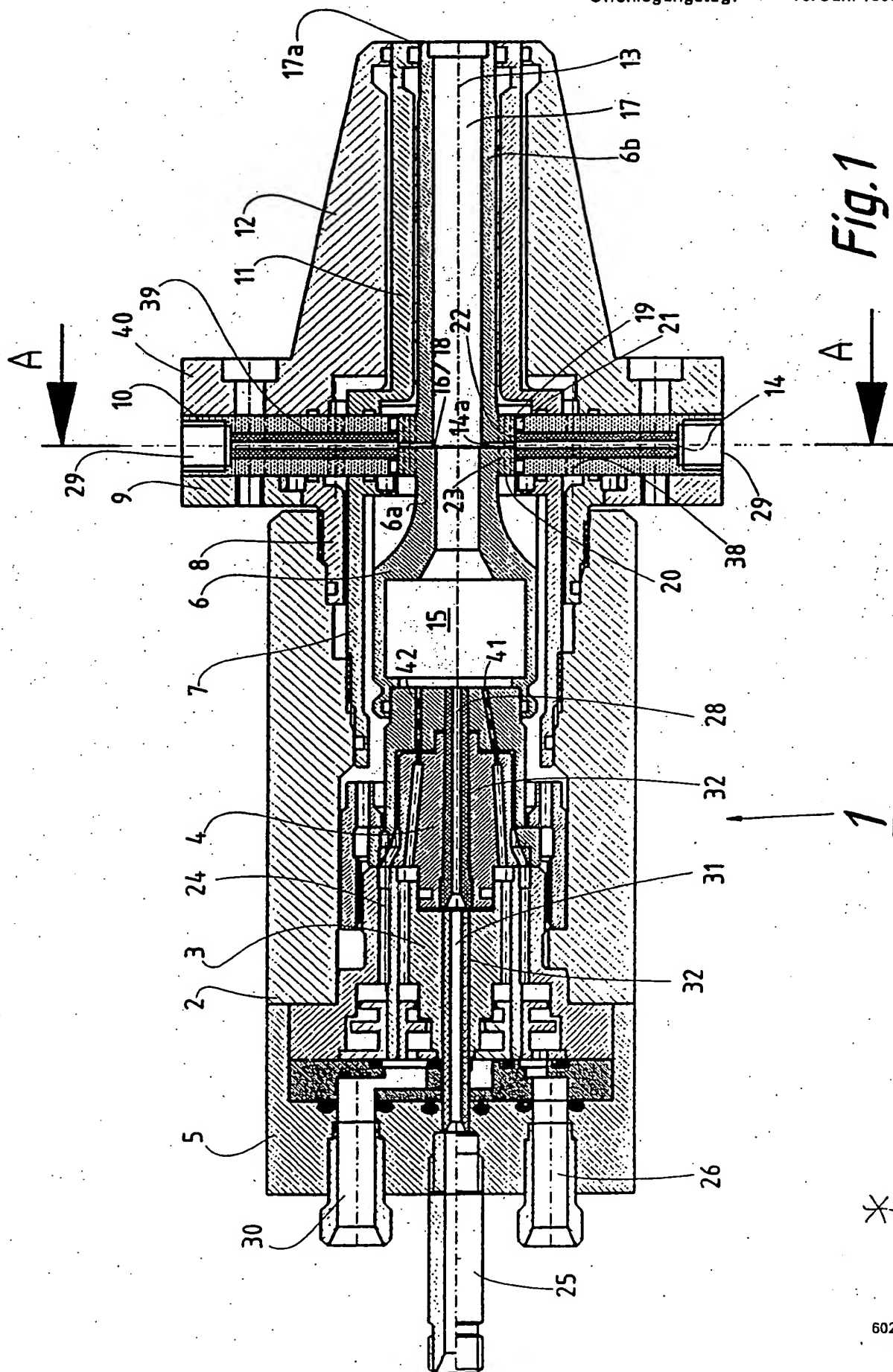


Fig. 1

\*

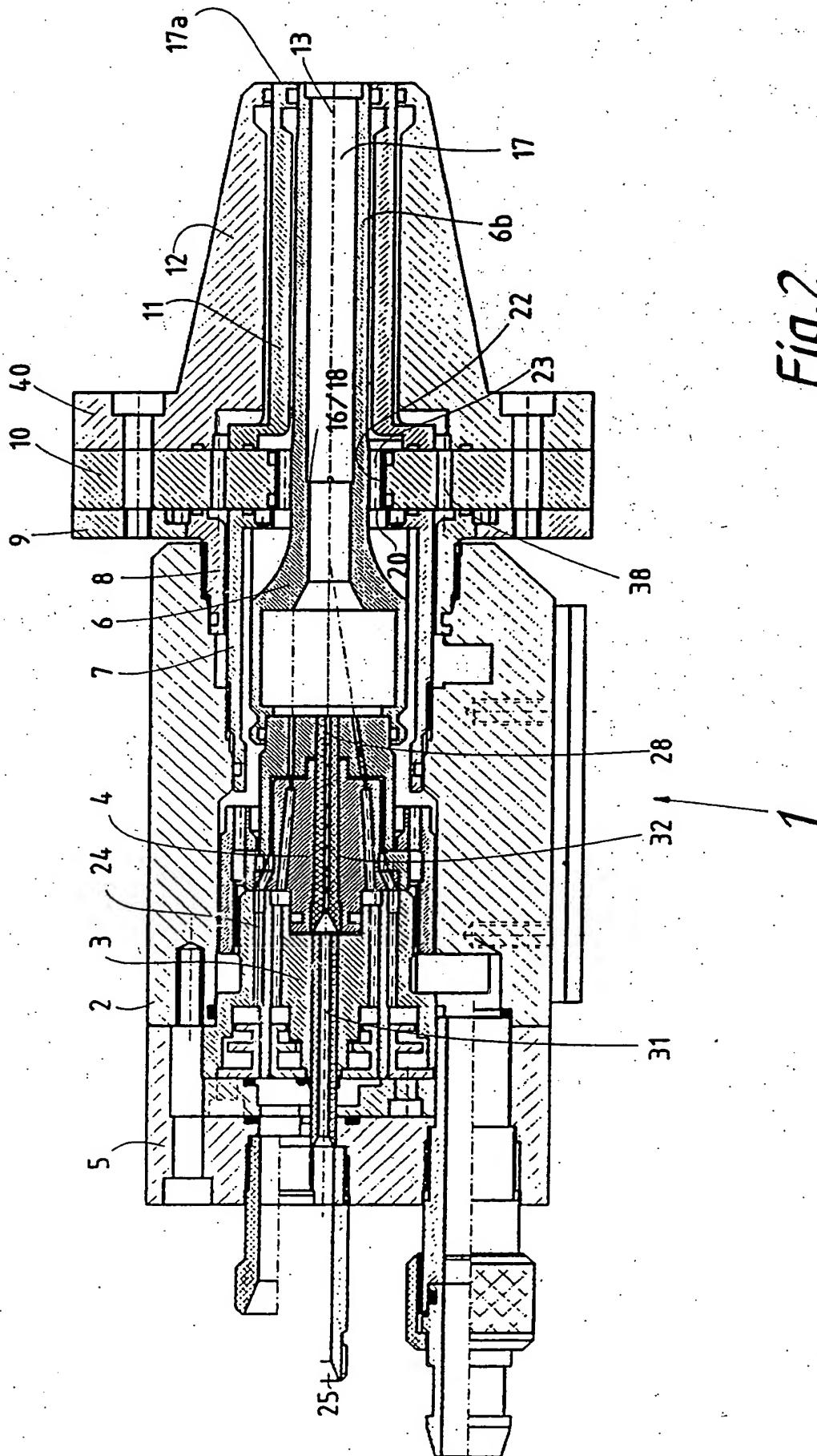


Fig. 2

Schnitt A-A

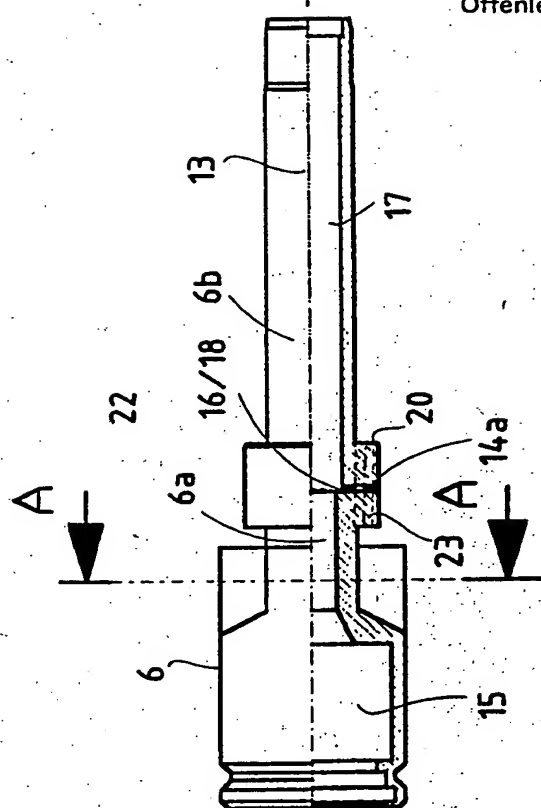


Fig. 3

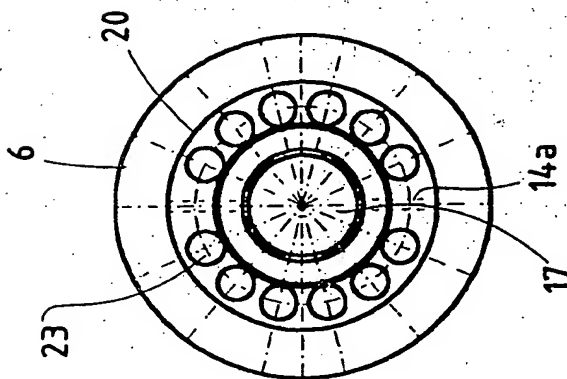


Fig. 3a

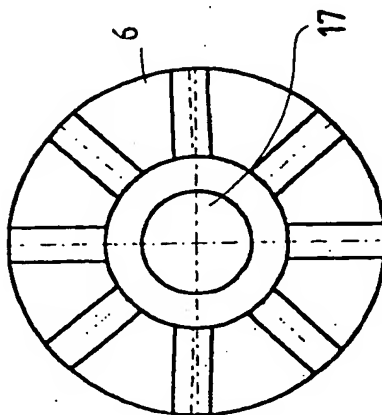


Fig. 3b

# Schnitt A-A

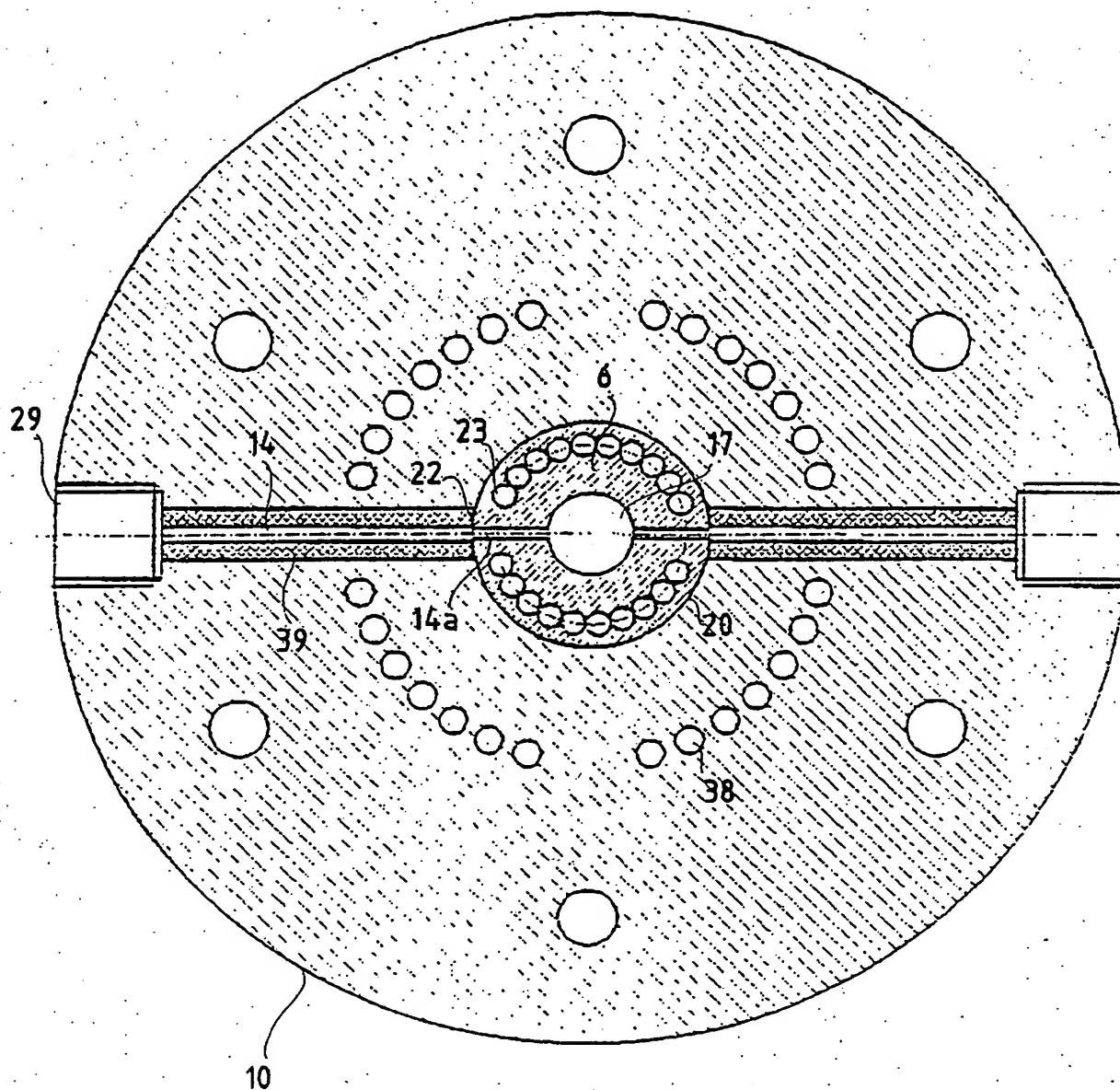


Fig. 4

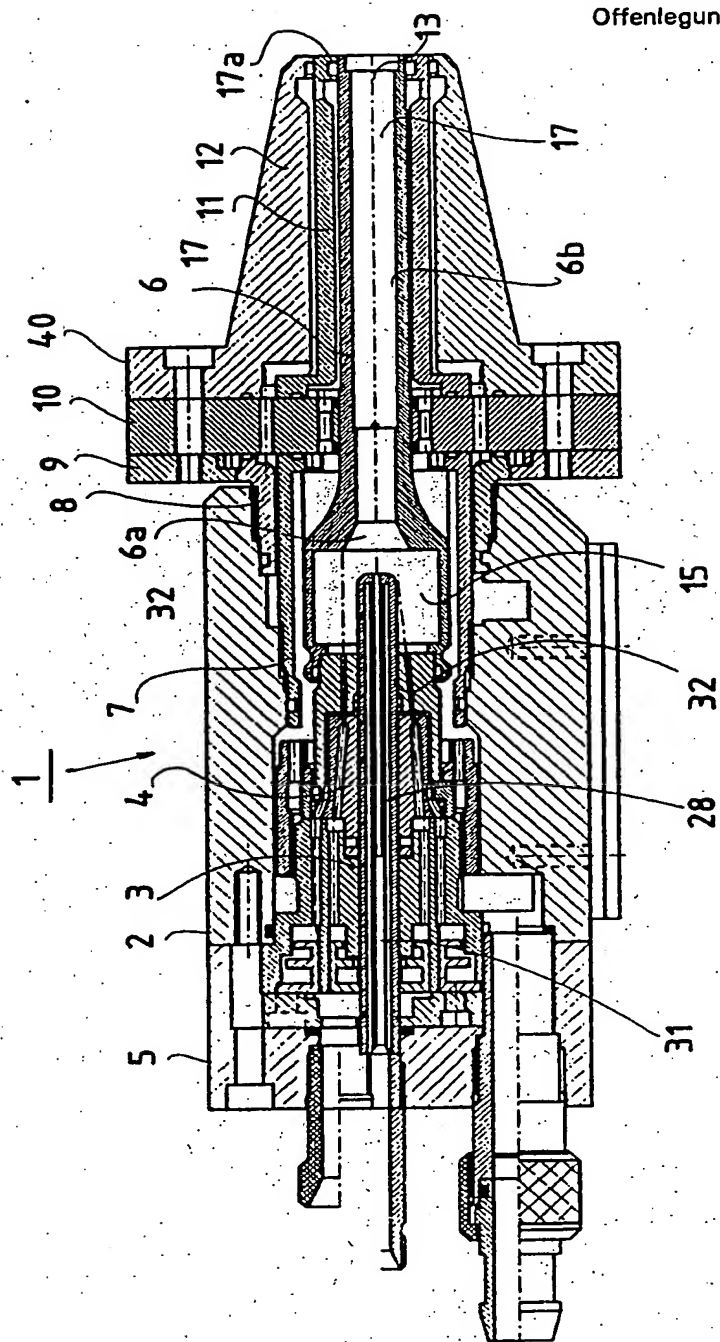


Fig.5

Ansicht A

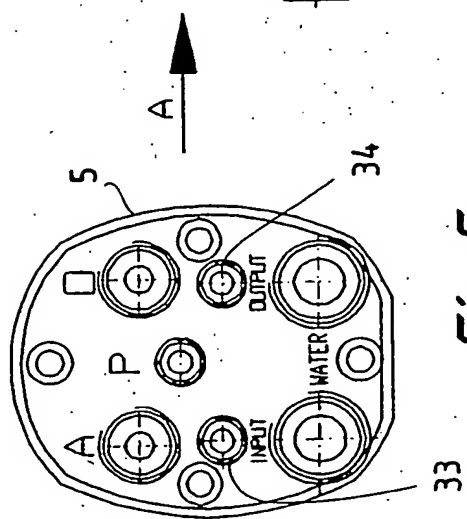
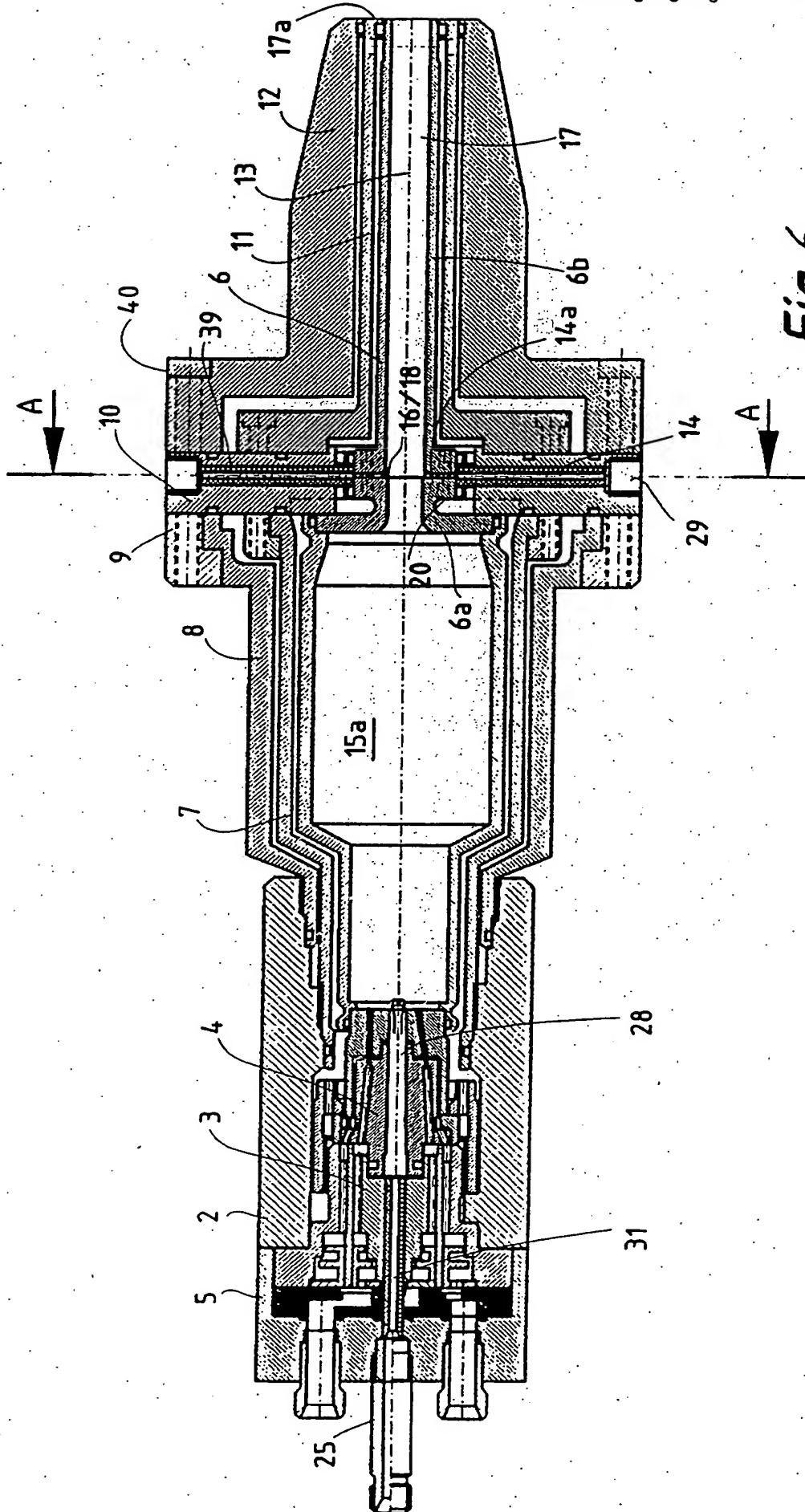
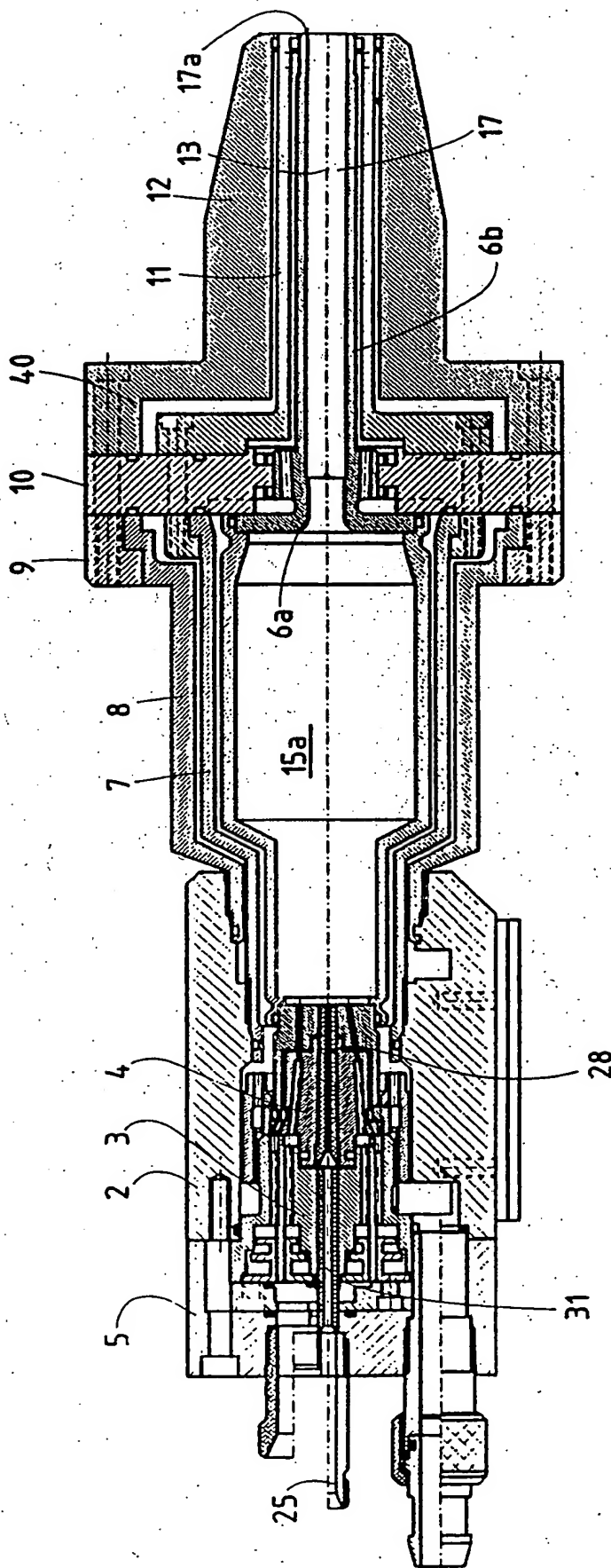


Fig.5a







# Schnitt A-A

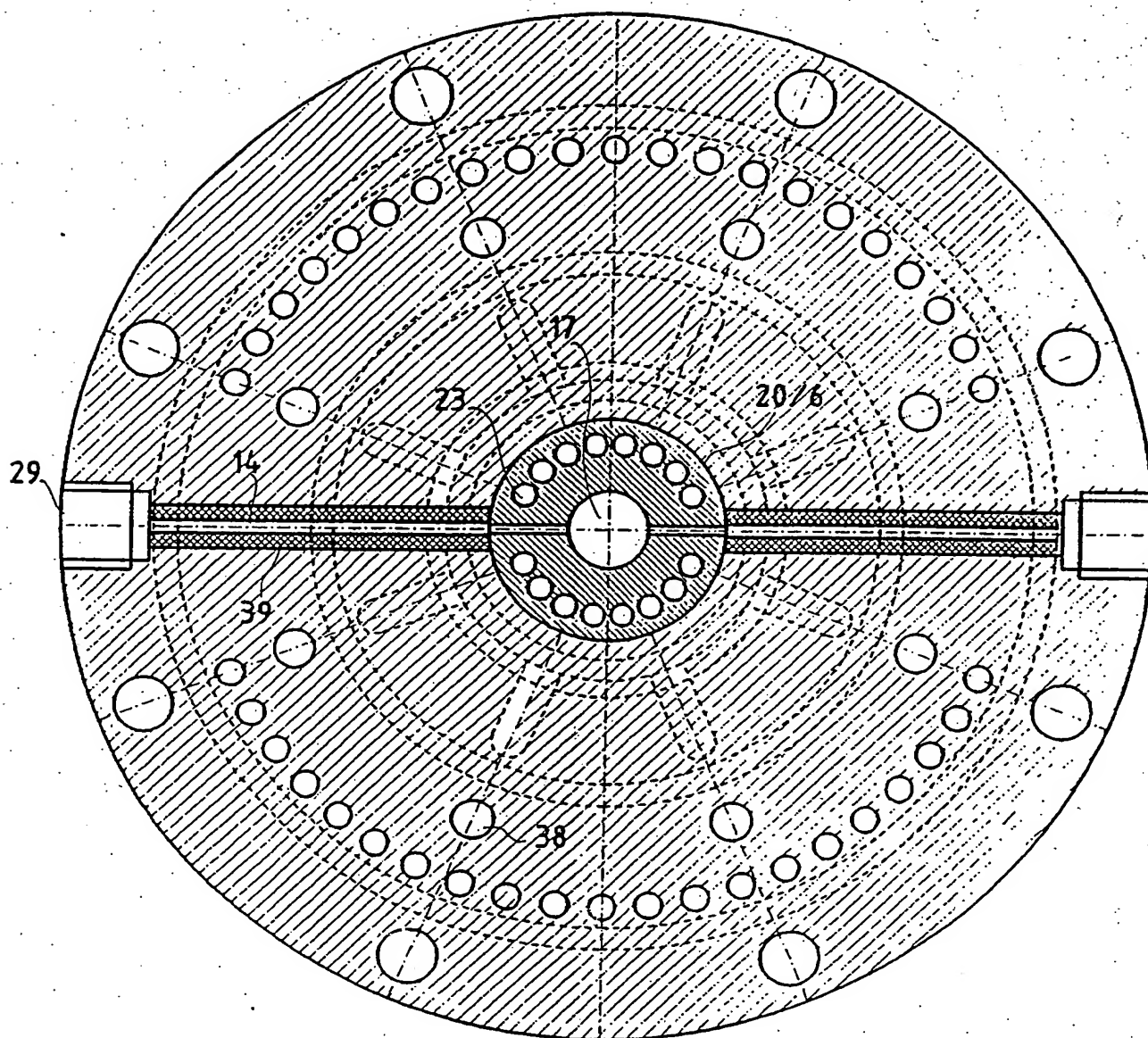


Fig.8

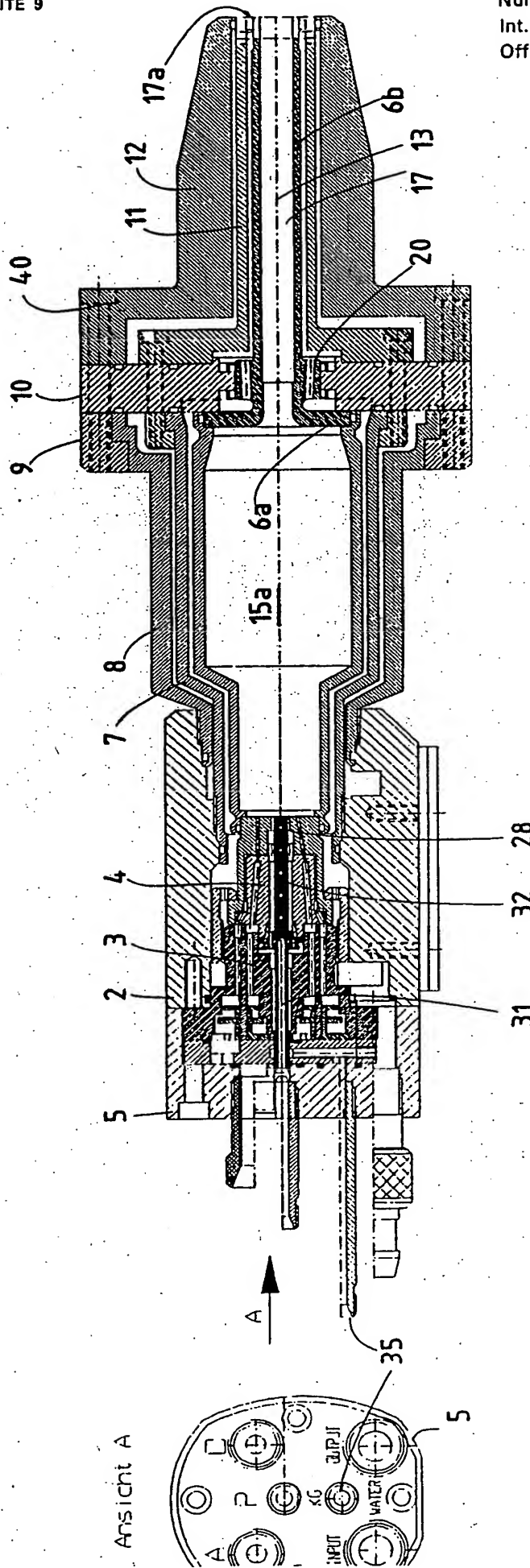


Fig. 9

Fig. 9a

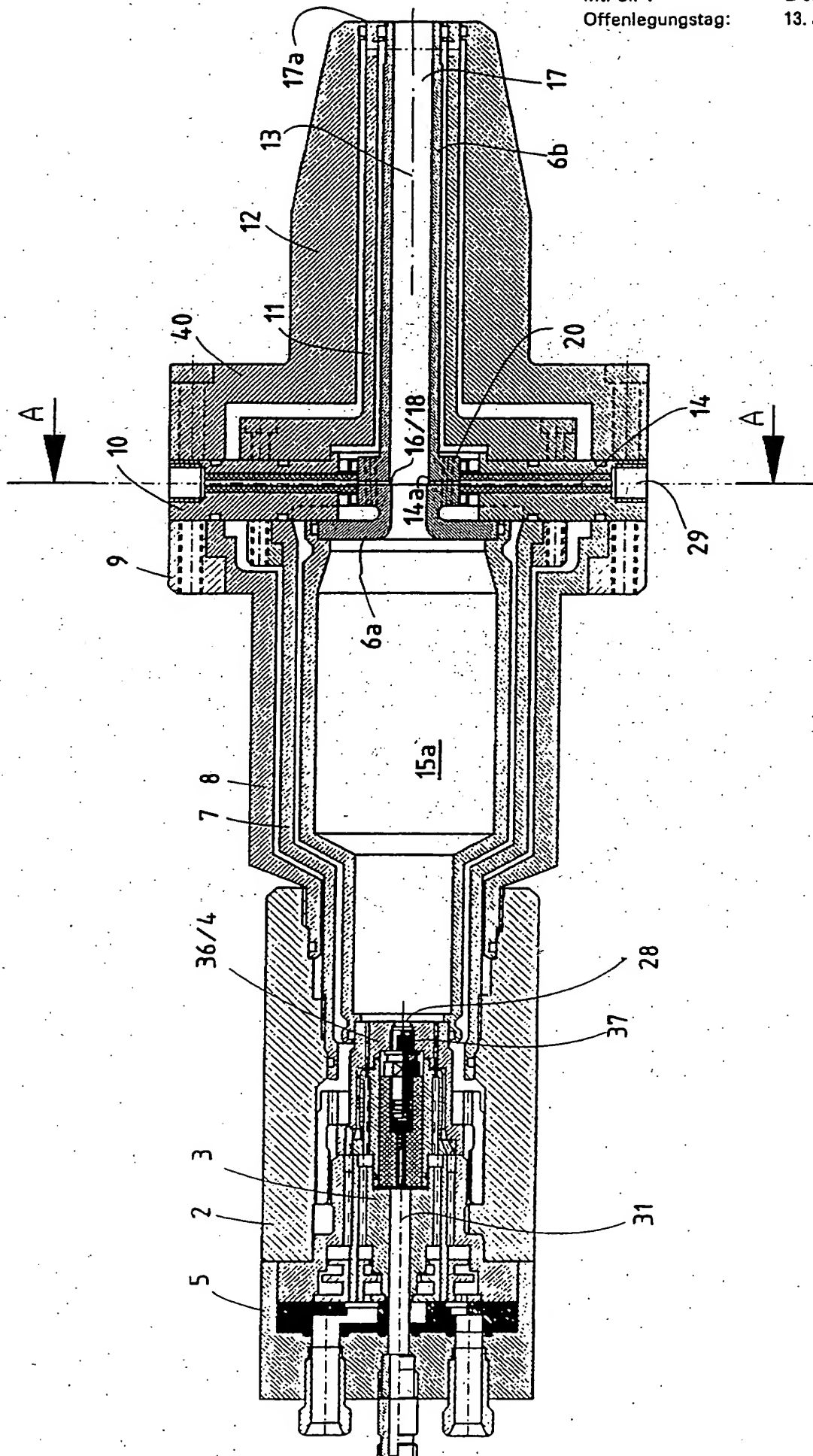


Fig. 10

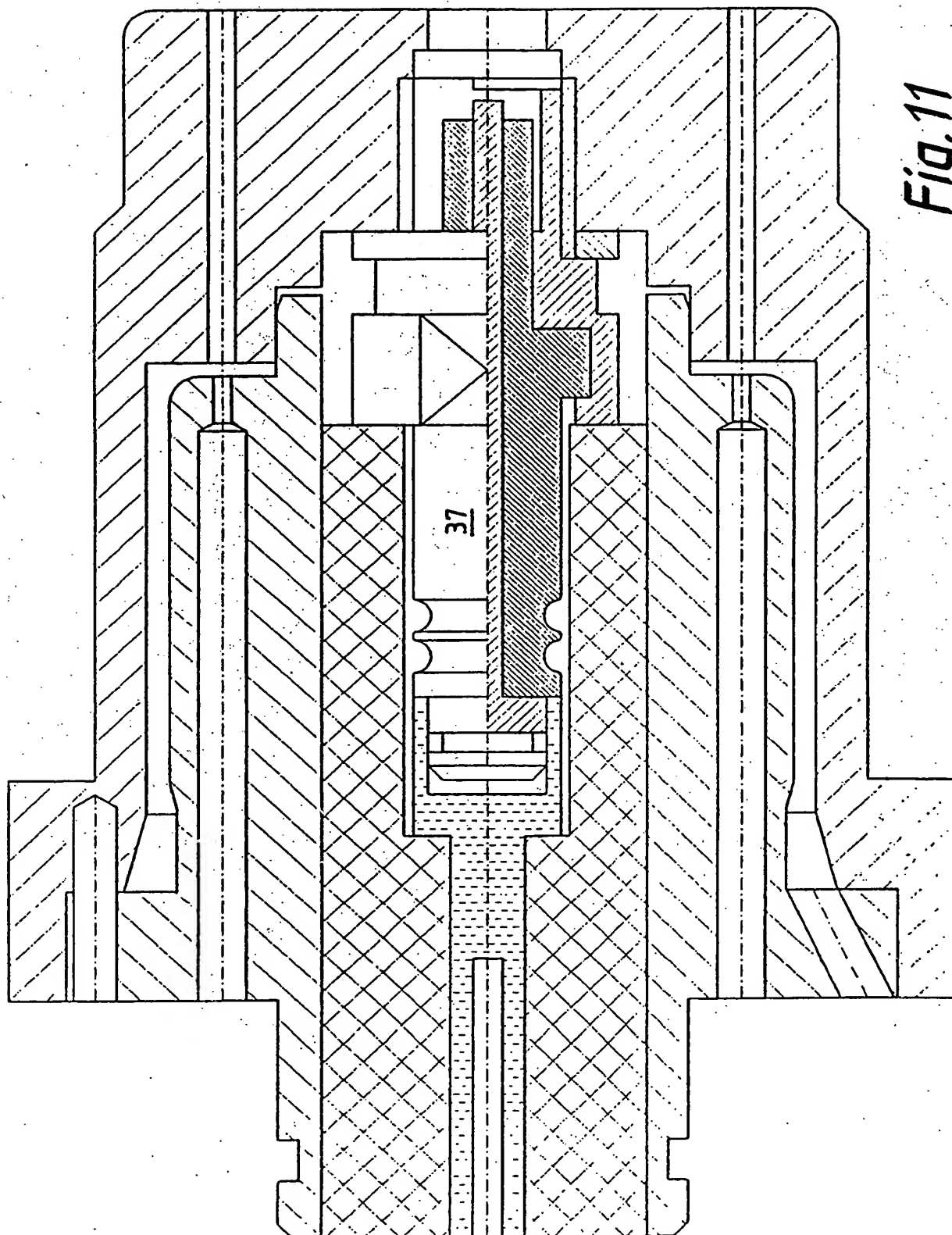
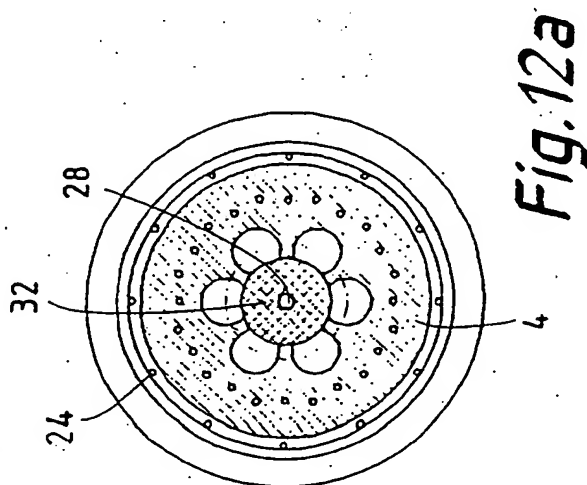
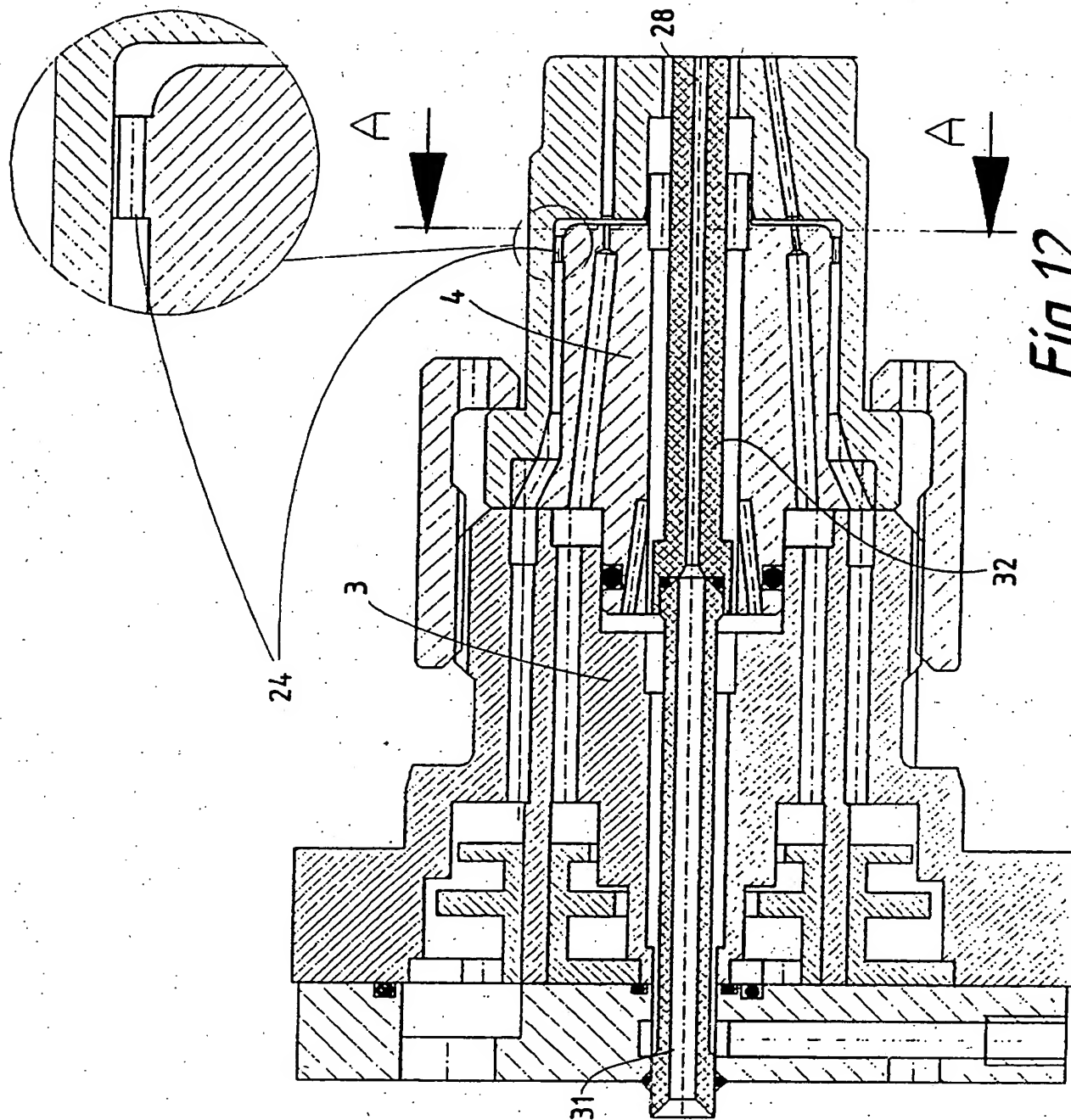


Fig. 11





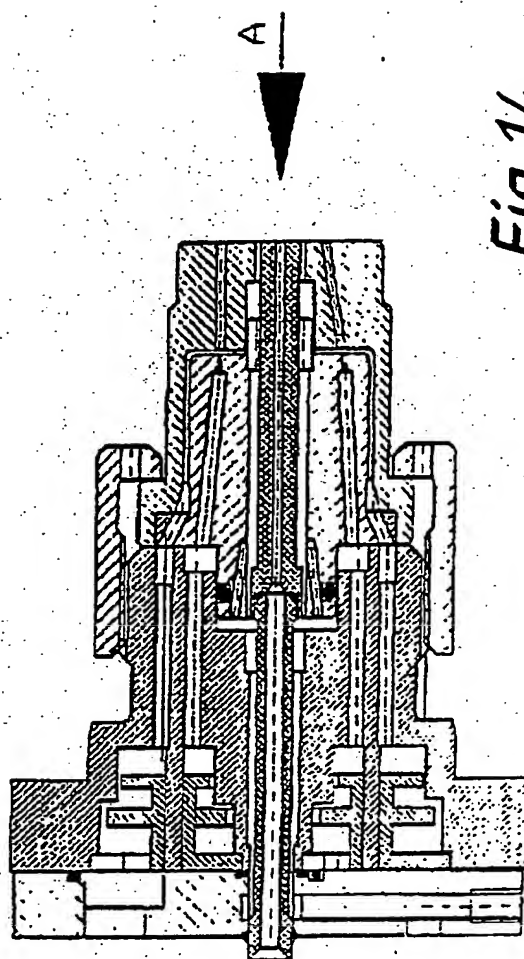


Fig. 14

Ansicht A

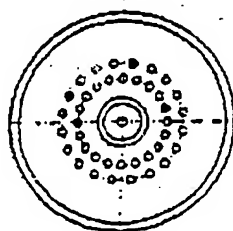


Fig. 14a